intelligenter Verkehr und nutzergerechte Technik

Ergebnisbericht

INVENT „erfahren“ – mobil mit 8 Sinnen

Projektlaufzeit 2001-2005

INVENT-Büro
Hülenbergstr. 10
D-73230 Kirchheim unter Teck
Tel.: +49 (0) 70 21-97 81 81
Fax: +49 (0) 70 21-97 81 82
www.invent-online.de

gefördert vom
Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Inhaltsübersicht

Warum INVENT? 7

Fahrumgebungserfassung und Interpretation (FUE) 13

Zusammenfassung 15
Sensoren: Radar, Lidar, Kamera 16
Umfeldmodell und Spezifikation 20
Perzeption 22
Sensordatenaufbereitung 22
Objektbildung 24
Situationsanalyse 26
Validierung 27
Ausblick 29

Vorausschauende, Aktive Sicherheit (VAS) 31

Zusammenfassung und Zielsetzung 32
VAS Assistenzsysteme 33
Querführungsassistenz 35
Prädiktive Fahrdynamikregelung 38
Kreuzungsassistenz 39
Kreuzungsannäherungsassistenz 43
Fußgänger- und Radfahrerschutz 45
Roadmap der VAS-Systeme 48
Bewertung und Ausblick 49

Stauassistent (STA) 51

Zusammenfassung 52
Gemeinsame Basis und Realisierung 53
Grundfunktionen des Stauassistenten 54
Situationsanalyse und Funktionsspezifikation 55
Erstellung eines Gesamtkonzepts 57
Spezifikation der Umfeldsensorik 60
Fahrzeugregelung 60
Fahrer-System-Schnittstelle 63
Zulassungs- und Einführungsfragen 63
Darstellung des Systems im Fahrzeug 64
Funktionserprobung 66
Ausblick 67

Fahrerverhalten und Mensch-Maschine-Interaktion (FVM) 69

Zusammenfassung 71
Literaturrecherche, Strukturierung und Bewertung 72
Fahraufgabenklassifikation 73
Experimentalstudien zum Fahrerverhalten an Kreuzungen 74
Selbsterklärende Fahrerassistenzsysteme 76
Minimierung des Lernaufwands 78
Gestaltungsbeispiele für lernfördernde Maßnahmen 79
Die verkehrssichere Mensch-Maschine-Interaktion bewerten 79
Gestaltungsunterstützung für die Applikationsprojekte 82
Ausblick 83

Inhaltsübersicht

Verkehrliche Wirkung, Rechtsfragen und Akzeptanz (VRA) 85

Zusammenfassung 87
Verkehrliche Wirkungen 88
Akzeptanz und Mensch-Maschine-Interaktion 90
Methoden – Frühe und effiziente Einbindung potenzieller Kunden 90
Ergebnisse – Was die Kunden denken 92
Gebrauchssicherheit 93
Rechtsfragen und Antworten 93
Ökonomische Bewertung 94
Gesamtwirtschaftliche und private Nutzen von Fahrerassistenzsystemen 96
Ausblick 98

Verkehrsleistungsassistenz (VLA) 101

Einleitung 103
Die richtige Strategie 104
Konzepte zur Verkehrsleistungssteigerung 105
Verkehrslageschätzung im Fahrzeug 106
Fahrzeugkommunikation über Radar 107
Fahrzeugkommunikation über Mobilfunk 108
Demonstratoren zeigen die Wirksamkeit 111
Nutzerperspektive 115
Darstellung und Erprobung in Fahrzeugen 116
Zusammenfassung und Ausblick 119

Netzausgleich Individualverkehr (NIV) 121

Einleitung 123
Testfelder München und Magdeburg 125
Systemarchitektur zur Datenintegration und Datenhaltung 126
Verkehrsdatenerfassung mit eXtended Floating Car Data (XFCD) 128
Ermittlung der Verkehrslage, Verkehrsprognose, der Umweltlage und deren Fusionierung 129
Routing Zentrale und Kommunikation 134
Feldversuche in den Testfeldern München und Magdeburg 136
Zusammenfassung und Ausblick 138

Verkehrsmanagement in Transport und Logistik (VMTL) 141

Zusammenfassung 142
Ausgangslage 144
Vision 145
Basis 146
Systemarchitektur 146
Mobile Kommunikation und Device Management 150
Tourenplanung und -steuerung 152
Nutzerakzeptanz und Wirkungsbetrachtung 156
Fazit und Ausblick 159

Die Projektpartner

Warum INVENT?

Warum INVENT?

Verkehr und Transport sind nach wie vor zwei der wichtigsten Wirtschaftsfaktoren. Sie stehen für uneingeschränkte Mobilität und bilden eine zentrale Grundlage für Wohlstand, Fortschritt und Wettbewerbsfähigkeit. In die Zukunft der deutschen Wettbewerbsfähigkeit zu investieren, den technologischen Fortschritt zu fördern und unseren gesellschaftlichen Wohlstand zu sichern war dann auch die grundlegende Motivation der Verkehrsforschungsinitiative INVENT (Intelligenter Verkehr und nutzergerechte Technik), zu der sich 24 Unternehmen aus der Automobil-, Zuliefer-, Elektronik-, Telekommunikations- und IT-Industrie, Logistikdienstleister, Softwarehäuser sowie verschiedene Forschungsinstitute Anfang 2001 zusammenfanden.

Als Unterauftragnehmer waren zahlreiche Universitäts-Institute sowie kleine und mittelständische Unternehmen beteiligt. Der Initiative standen insgesamt 76 Millionen Euro Forschungsgelder zur Verfügung, das Bundesministerium für Bildung und Forschung förderte die Kooperation zu 45 Prozent. Denn trotz ständiger Entwicklung und Innovationen bergen die Bereiche Verkehr und Transport noch ein erhebliches Entwicklungspotenzial.

Stichwort **Verkehrssicherheit:** Obwohl die Zahl der Unfallopfer ständig sinkt, sind nach vorläufigen Ergebnissen des Statistischen Bundesamtes im vergangenen Jahr 5 844 Personen auf Deutschlands Straßen ums Leben gekommen. Das bedeutet, dass nahezu alle 90 Minuten ein Straßenverkehrsteilnehmer starb. Im Jahr 2004 registrierte die Polizei 2,25 Millionen Verkehrsunfälle, darunter 338 800 mit Personenschaden.

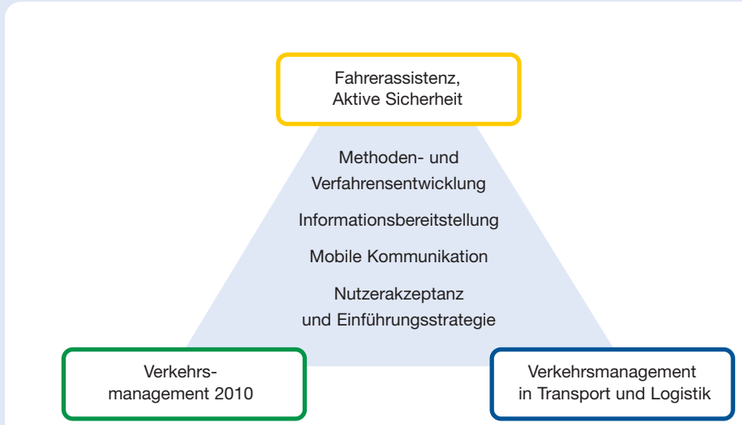
Stichwort **Verkehrsmanagement und Umwelt:** Deutschlands Straßen werden hoch frequentiert. Dies führt zu erheblichen Problemen beim Verkehrsfluss. Laut einer Studie des ADAC verursachen Staus täglich rund 13 Millionen Stunden verlorene Zeit und 33 Millionen Liter nutzlos verbrauchten Kraftstoff. Das belastet nicht nur die Wirtschaft, sondern schadet auch der Umwelt.

Die Ziele

Mehr Sicherheit und Effizienz trotz steigenden Verkehrsaufkommens lauteten deshalb die zentralen Ziele von INVENT. Dabei sollten sich die neuen Lösungen durch ein hohes Maß an Nutzerfreundlichkeit und Komfort auszeichnen. Es sollten Technologien auf den Weg gebracht werden, die ein sicheres, nachhaltiges und umweltschonendes Verkehrsmanagement ermöglichen, die Verkehrsteilnehmer entlasten und unterstützen. Die Forschungsergebnisse sollten schließlich in ersten Demonstrationsfahrzeugen, prototypischen Leitzentralen und Computersimulationen realisiert werden, um eine plastische Idee davon zu vermitteln, wie Fahrzeuge und Verkehr der Zukunft aussehen können.

Die Projekte

Geforscht wurde in drei verschiedenen Schwerpunktbereichen. Im Bereich **Fahrerassistenz, Aktive Sicherheit** befassten sich die Forscher mit der Entwicklung von intelligenten Fahrerassistenzsystemen. Diese sollen den Fahrer in schwierigen und gefährlichen Verkehrssituationen warnen und bei seiner Reaktion unterstützen. Im Bereich **Verkehrsmanagement 2010** lag der Forschungsschwerpunkt auf der Stauvermeidung und der besseren Nutzung des Straßennetzes. Der Bereich **Verkehrsmanagement in Transport und Logistik** beschäftigte sich mit der Optimierung des Lieferverkehrs. Ziel war es, unter Berücksichtigung von Kundenpräferenzen und aktuellen Verkehrszuständen optimale Touren für den Lieferverkehr planen und überwachen zu können.



Diese drei Schwerpunktbereiche untergliederten sich in 8 Teilprojekte:

Projektübergreifende Zusammenarbeit

Kennzeichnend für die Arbeit in den Teilprojekten war ein hohes Maß an Vernetzung und Interaktion zwischen den einzelnen Themengebieten. So dienten verschiedene Querschnittsprojekte der Untersuchung von grundlegenden Forschungsfragen, die gewonnenen Erkenntnisse standen den Anwendungsprojekten dann als Basisdaten für die Entwicklung ihrer Technologien zur Verfügung. Umgekehrt fand die Grundlagenforschung gerade anhand von Prototypen statt, die innerhalb der Anwendungsprojekte entstanden waren.

Fahrerassistenz

In dem Projekt **Fahrumgebungserfassung und Interpretation** etwa wurde wertvolle, alle Assistenzsysteme übergreifende Forschung im Bereich der Anwendung von Sensorik und Kommunikationstechnologien in Fahrzeugen geleistet. Die Ergebnisse wurden in einigen Teilprojekten direkt ein- und umgesetzt. Etwa bei der Entwicklung von **Kreuzungs-, Querführungs- und Stauassistenten**, die mit Sensorsystemen wie Laser, Ultraschall oder Radar sowie mittels Videobildverarbeitung Daten sammeln, um den Fahrer in schwierigen Fahrsituationen zu unterstützen. Sie erkennen beispielsweise querenden Verkehr oder Stoppschilder und können den Fahrer darauf hinweisen. Sie warnen beim Spurverlassen auf der Autobahn oder erleichtern in Stausituationen die ermüdende Stop-and-Go-Fahrt. Auch der Prototyp eines neuartigen Radfahrer- und Fußgängerschutzsystems beruht auf der innovativen Sensortechnik und Informationsverarbeitung: Mittels Radar erkennt das Fahrzeug eine bevorstehende Kollision und aktiviert unter anderem einen Schutzmechanismus, bei dem sich die Motorhaube automatisch um einige Zentimeter anhebt. Dies vergrößert die Knautschzone und reduziert das Verletzungsrisiko für den schwächeren Verkehrsteilnehmer um mehr als die Hälfte.

Verkehrsmanagement

Die Entwicklungen in den Projekten **Verkehrsmanagement 2010** und **Verkehrsmanagement in Transport und Logistik** machen deutlich, dass der Verkehr der Zukunft nicht nur sicherer werden kann, sondern sich auch deutlich flüssiger und effizienter gestalten lässt. Der Schlüssel dazu liegt ein weiteres Mal im Einsatz intelligenter Sensor- und Kommunikationstechniken. So entwickelten und erprobten die INVENT-Partner prototypisch eine **Verkehrsleistungsassistenz**, die bei der Vermeidung und Bewältigung von Stausituationen hilft. Die Fahrzeuge tauschen untereinander Daten über die Verkehrsdichte und den Straßenzustand aus und passen Tempo und Fahrweise an die Verkehrslage an. Auf diese Weise minimieren sie Störungen, aus denen sich Stop-and-Go-Wellen oder Staus entwickeln könnten.

Ebenso sollen modernste Kommunikationstechniken in Zukunft zur Optimierung der Routenplanung zum Einsatz kommen, sowohl im Individualverkehr als auch für einen effizienteren Lieferverkehr. Dazu wurde im Teilprojekt **Netzausgleich Individualverkehr** intensiv an dynamischen Navigationssystemen der nächsten Generation geforscht, die bei der Routenberechnung auch aktuelle Stauprognosen oder Umleitungsempfehlungen berücksichtigen.

Die Forschergruppe **Verkehrsmanagement in Transport und Logistik** untersuchte, wie sich mittels moderner Mobilfunksysteme unter Berücksichtigung aktueller Verkehrsdaten Routen für Lieferwagen bis in den Hausnummernbereich dynamisch planen und steuern lassen. Dabei sollten die Präferenzen der Endkunden möglichst weitgehend berücksichtigt und die Zusteller während ihrer Tour effizient unterstützt werden.

Nutzerfreundlichkeit

Ziel der INVENT-Partner war es jedoch nicht nur, Assistenzsysteme zu entwickeln, die sich durch ein maximales Maß an Intelligenz auszeichnen. Gleichzeitig sollten sie auch möglichst einfach und intuitiv zu benutzen sein. Das Querschnittsprojekt **Fahrerverhalten und Mensch-Maschine-Interaktion** beschäftigte sich daher intensiv mit der nutzergerechten Gestaltung der Fahrzeugbedienung. Dabei untersuchten die Partner systematisch, wie ein Fahrer auf die vielfältigen Anforderungen gerade in riskanten Verkehrssituationen reagiert, wie er den Umgang mit neuen Systemen lernt und welche Formen der Warnung er am schnellsten aufnimmt und umsetzt. Untersucht wurde auch, was den Fahrer eher irritiert als unterstützt und damit vielleicht zu Fahrfehlern führen könnte. Zusätzlich entstand ein Verfahren zur Verkehrssicherheitsbewertung von Assistenzsystemen.

Wirtschaftlichkeit und rechtliche Rahmenbedingungen

Nicht alles, was technisch machbar ist, bringt wirklich Nutzen. Um kostspielige Fehlentwicklungen zu vermeiden, beschäftigten sich daher Forscher in dem Querschnittsprojekt **Verkehrliche Wirkung, Rechtsfragen und Akzeptanz** von Anfang an mit den betriebs- und volkswirtschaftlichen Auswirkungen möglicher Entwicklungen. Dabei kamen zahlreiche Verkehrssimulationen, Kundenbefragungen, Marktuntersuchungen, Kosten-Nutzen-Analysen, Akzeptanzprognosen, Workshops und Fahrversuche zum Einsatz. Von besonderer Bedeutung war in diesem Projekt auch die Analyse der rechtlichen Rahmenbedingungen sowie möglicher rechtlicher Konflikte. Um eine möglichst schnelle Umsetzung aller Innovationen in die Praxis zu gewährleisten, musste etwa geklärt werden, wer die Verantwortung trägt, wenn ein aktives Sicherheitssystem in einer gefährlichen Situation dem Fahrer die Entscheidung und Handlung abnimmt.

Zukunftsperspektiven

Mit dem Ziel, ihre Daten und Erkenntnisse auch zukünftigen Forschungsarbeiten zugänglich zu machen, werden die INVENT-Partner gemeinsame Empfehlungen für die Entwicklung von Fahrerassistenz- und Informationssystemen erstellen. Denn die Arbeiten gehen bei den einzelnen Projektpartnern weiter, und die neuen Technologien sollen schließlich serienreif werden, so dass jeder Verkehrsteilnehmer davon profitieren kann.

INVENT-Innovationen

Die in INVENT entwickelten neuartigen Fahrzeuge sind dank hochentwickelter Sensorik, Kommunikations- und Informationstechnik in der Lage mitzusehen, mitzudenken und mit anderen Fahrzeugen und Verkehrszentralen zu kommunizieren. Die INVENT-Innovationen sind in Prototypen und Simulationen realisiert und wurden bei der Abschlussveranstaltung am 27./28. April 2005 in München präsentiert:

- Kreuzungsassistenten, die querenden Verkehr an Rechts-vor-Links-Kreuzungen oder Gegenverkehr beim Linksabbiegen, aber auch Stoppschilder oder Radfahrer automatisch erkennen und den Fahrer entsprechend vorwarnen

- Querführungsassistenten, die den Fahrer beim Halten der Fahrspur und beim Spurwechsel unterstützen und bei Gefahr warnen

- Stauassistenten, die den Autofahrer bei der Stop-and-Go-Fahrt im stockenden Verkehr entlasten

- Techniken zum aktiven Fußgängerschutz – bei einer drohenden Kollision hebt sich zum Beispiel automatisch die Motorhaube, um Verletzungen zu minimieren

- Lösungen zur Blickerfassung des Fahrers und verbesserte Mensch-Maschine-Schnittstellen

- Fahrzeugsysteme, mit denen Verkehrszustände durch Sensoren im Fahrzeug erfasst und über Funk an nachfolgende Fahrzeuge und Zentralen übermittelt werden. Darauf aufbauende Informationssysteme, die den Fahrer beim verkehrsoptimalen Fahren unterstützen und automatische Geschwindigkeitsregler, die das Folgeverhalten optimal der augenblicklichen lokalen Verkehrslage anpassen

- Fahrsimulator, mit dem Wirkung und Akzeptanz von Funktionen zur Fahrerinformation und Fahrerunterstützung untersucht werden

- Systeme zur Simulation und Animation, die moderne verkehrsadaptive Assistenzsysteme im Verkehr erlebbar darstellen

- Verkehrsmanagementzentralen, welche ihre Verkehrsinformationen aus den verschiedenen Datenquellen (z. B. stationäre Erfassungseinrichtungen, FCD) mittels Modellen und Prognose erzeugen, wobei auch die Interessen der öffentlichen Hand und deren Leitstrategien berücksichtigt werden

- Navigationssysteme, die die aktuellen Verkehrsdaten mit in die Routenberechnung einbeziehen

- Dynamische Logistikprozesse dank intelligenter Planungssysteme

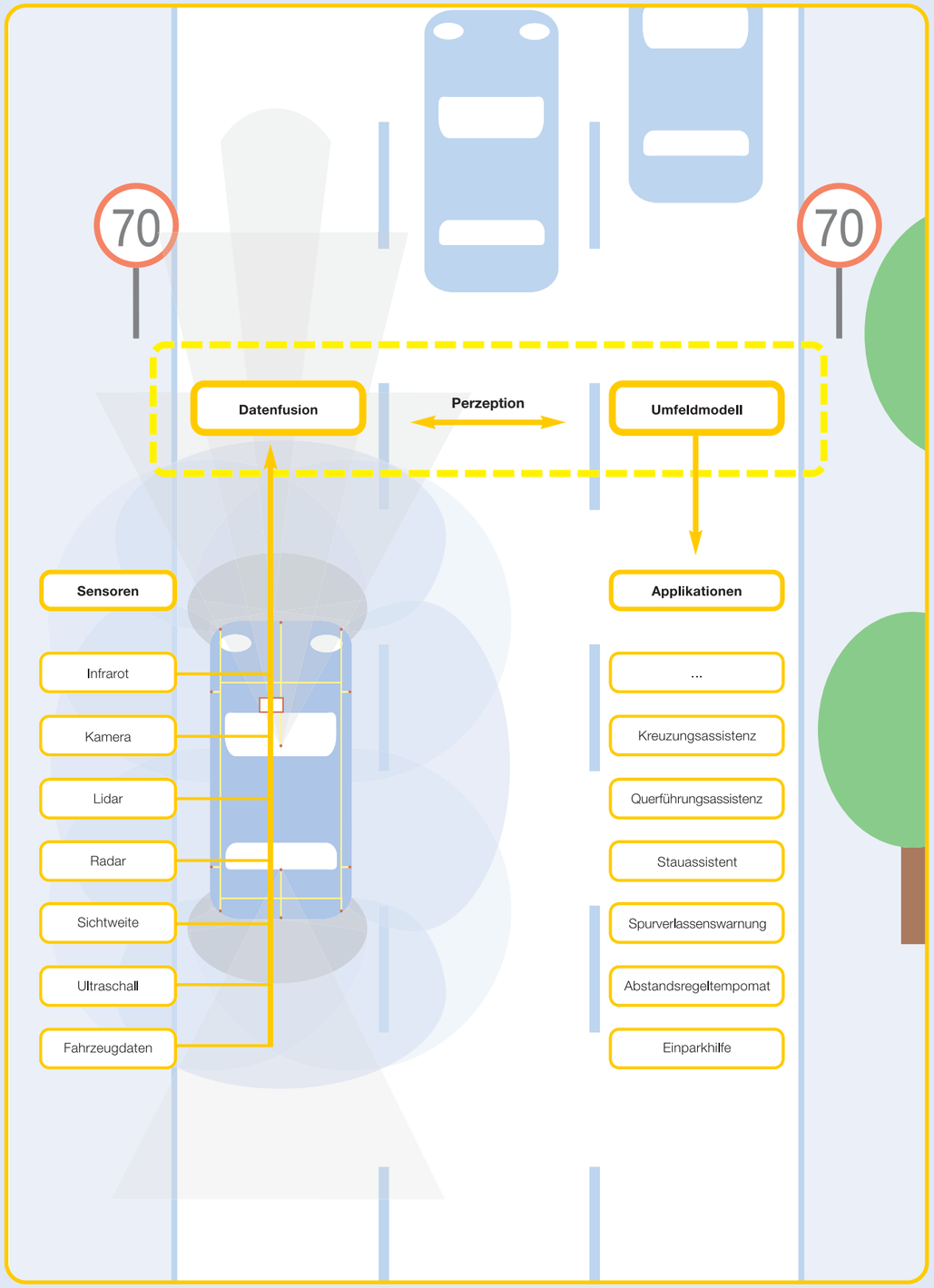
- Optimierte Lieferdienste, welche die individuellen Zustellungswünsche und die gesteigerte Mobilität ihrer Kunden berücksichtigen (z. B. Lieferung direkt in den Kofferraum des Kunden)

Fahrumgebungserfassung und Interpretation – FUE

Projektpartner

Adam Opel AG
DaimlerChrysler AG
Hella KGaA Hueck & Co.
MAN Nutzfahrzeuge AG
Robert Bosch GmbH
Siemens VDO Automotive AG
Volkswagen AG

Abb. 1: Systemarchitektur für die multisensorielle Umgebungserfassung



Zusammenfassung

Mehr Sicherheit im Verkehr und gleichzeitig Erhöhung des Fahrkomforts – dabei können intelligente Assistenzsysteme helfen. Um aber mit dem Fahrer situationsabhängig interagieren zu können, benötigen die Assistenzsysteme eine sichere und genaue Erfassung und Interpretation der Fahrumgebung.

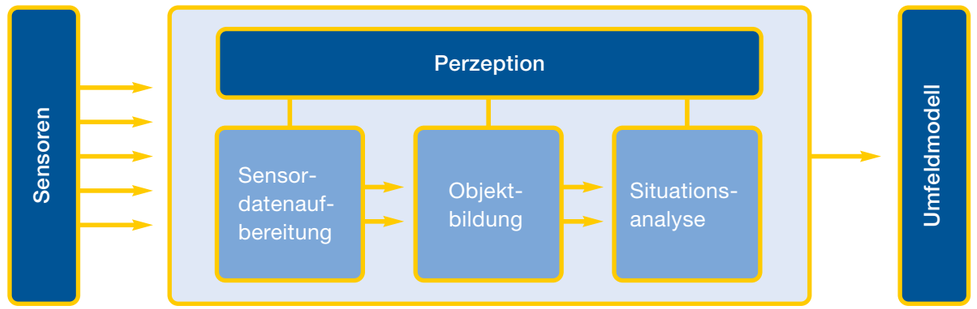
Das INVENT-Teilprojekt FUE hat den Nutzen von verschiedenen Sensoren zur Umgebungserfassung untersucht. Dabei zeigte sich schnell die Notwendigkeit, unterschiedliche Sensoren gleichzeitig zu verwenden. Nur durch eine Verknüpfung dieser Daten können alle wichtigen Details der Fahrumgebung erfasst und dann auch ausgewertet werden.

Die Systemarchitektur in Abbildung 1 zeigt das Grundverständnis einer multisensoriellen Umgebungserfassung mit vernetzter Perzeption und gemeinsamem Umfeldmodell. Dieses Konzept unterscheidet sich deutlich von der heute üblichen Vorgehensweise, dass ein einzelner Sensor mit einem lokalen Steuergerät eine bestimmte Funktion, wie Einparkhilfe oder Abstandsregeltempomat, ermöglicht.

Abbildung 2 zeigt nochmals schematisch das durchgängige Konzept zur Fahrumgebungserfassung mit Multisensorik. Hervorzuheben ist die detaillierte Gliederung der Perzeption in die drei Schritte: Sensordatenaufbereitung, Objektbildung und Situationsanalyse. Das Umfeldmodell bietet eine klare Schnittstelle zu den Applikationen und erlaubt gleichzeitig eine Validierung der Umgebungserfassung unabhängig von dem realisierten Assistenzsystem. Die weiteren Ergebnisse sind in den folgenden Abschnitten im Detail beschrieben.

Dieses Konzept wurde in enger Zusammenarbeit mit den beiden Applikationsprojekten Stauassistenz und Vorauschauende, Aktive Sicherheit entworfen, erprobt und in Prototypen erfolgreich umgesetzt.

Abb. 2: Systemkonzept für die multisensorielle Umgebungserfassung



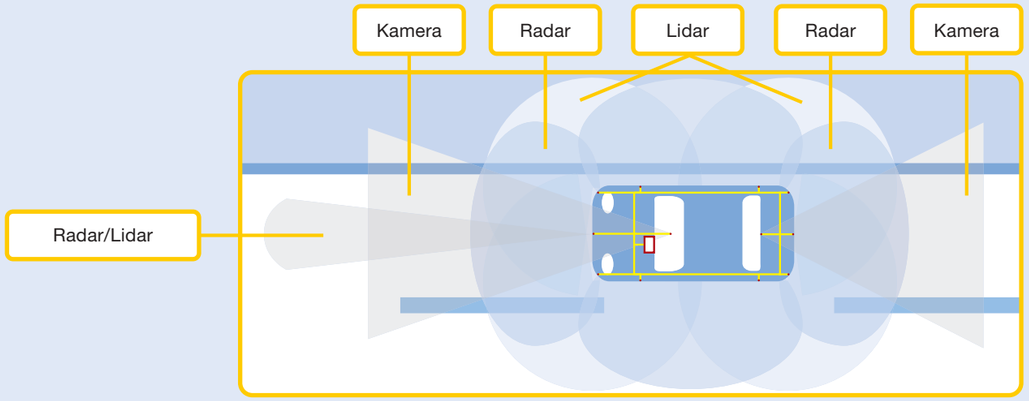
Ergebnisse

Sensoren: Radar, Lidar, Kamera

Zu Beginn des Teilprojektes wurde eine Bestandsaufnahme aller im Projekt INVENT-FAS verwendeten Sensoren erstellt. Diese umfasst sowohl eine funktionelle Beschreibung als auch alle wichtigen Leistungsmerkmale der Sensoren. Trotz der Vielzahl der verfügbaren Sensoren können die verwendeten Sensoren nach Technologie in folgende drei Kategorien eingeteilt werden:

- **Radar** mit Ausprägungen für Fernbereichsradar und Nahbereichsradar,
- **Lidar** basierend auf scannenden oder feststehenden Laserstrahlen und
- **Kameras**, sowohl für den sichtbaren Bereich als auch für Wärmestrahlung.

Abb. 3: Schematische Darstellung der Erfassungsbereiche von Sensoren



Radar

Mit elektromagnetischen Wellen misst ein Radarsystem (Acronym für RAdio Detection And Ranging) die Entfernung zu und gleichzeitig die Geschwindigkeit von Objekten, indem die Objekt-Rückstreuung ausgewertet wird. Für die Generierung der Radarwellen gibt es verschiedene Möglichkeiten wie Pulse-Radar, FMCW (frequency modulated continuous wave) und FSK (frequency shift keying) Modulation, sowie Kombinationen davon.

Für den Abstandsregeltempomaten (ACC: adaptive cruise contol) wird ein Fernbereichsradar eingesetzt, bei dem Entfernungen bis zu 150 Metern gemessen werden können und die Objekte als punktförmig angesehen werden. Nachteilig beim Fernbereichsradar ist das meist sehr schmale Sichtfeld (maximal +/- 5°) und die übliche Unterdrückung von stehenden Objekten.

Beim Nahbereichsradar werden gleichzeitig mehrere Sensoren (Sender und Empfänger) verwendet, die jeweils einen deutlich größeren Öffnungswinkel (bis +/- 60°) besitzen. Durch verkoppelte Auswertung der Empfangssignale können auch mehrere Objekte bis zu einer Entfernung von 30 Metern lokalisiert werden.

Während das Fernbereichsradar bei einer Frequenz von 77 GHz arbeitet, benutzt das Nahbereichsradar momentan den Frequenzbereich um 24 GHz (in Zukunft aus Frequenzallokationsgründen jedoch 79 GHz).

Ein wichtiger Vorteil von Radar ist die Unempfindlichkeit der Radarwellenausbreitung gegenüber Witterungseinflüssen wie Regen, Schneefall oder Nebel.

Abb. 4: Sensorikeinbau in verschiedenen Prototypen

Lidar

Lidar (Light Detection And Ranging) oder auch Laserentfernungsmessung funktioniert im Prinzip ähnlich wie Radar, nur dass anstatt der elektromagnetischen Wellen Laserstrahlen verwendet werden. Im Gegensatz zu Radar wird die Objektgeschwindigkeit gewöhnlich über mehrere Entfernungsmessungen bestimmt und nicht direkt durch Auswertung des Dopplereffektes.

Nichtscannende Systeme mit mehreren Laserstrahlen und Photodioden (Multi-Beam-Lidar) werden wie das Fernbereichsradar meist für Abstandsregelung (ACC) eingesetzt, wobei durch die größere Anzahl an Strahlen eine bessere laterale Auflösung im Vergleich zum Fernbereichsradar erzielt wird.

Im Nahbereich wird überwiegend scannendes Lidar verwendet, das im Prinzip eine komplette Rundumsicht (360° Öffnungswinkel) ermöglicht. Um Nickbewegungen des Fahrzeuges zu kompensieren, werden mehrere Abtastebenen benutzt.

Ein Nachteil der Lidar-Systeme ist die Empfindlichkeit gegenüber Witterung (Nebel, Schnee und Regen, aber auch Gischtfahnen von vorausfahrenden Fahrzeugen) und die mögliche Verschmutzung der Empfangsoptik.

Abb. 5: Gegenüberstellung der unterschiedlichen Sensortechnologien

	Radar	Lidar	Kamera
Ausprägungen	Fernbereichsradar (77 GHz), Nahbereichsradar (24/79 GHz)	Multi-Beam-Lidar, scannendes Lidar	Grauwert/Farbe, Mono/Stereo, Wärmebild, bewegliche Kameras
Entfernungsmessung	Laufzeit/Phasenverschiebung	Laufzeit	indirekt über Stereo
Geschwindigkeitsmessung	Dopplereffekt	indirekt über Entfernung	(doppelt) indirekt über Entfernung
Reichweite	Fernbereich: sehr groß, Nahbereich: mittel	Multi-Beam: sehr groß, scannendes Lidar: mittel	groß, abhängig vom Objektiv
Öffnungswinkel	Fernbereich: sehr klein, Nahbereich: groß	Multi-Beam: klein, scannendes Lidar: sehr groß	mittel, abhängig vom Objektiv
Laterale Objektauflösung	wenig, hoch bei Nahbereichsradar	mittel, hoch bei scannendem Lidar	sehr hoch
Vertikale Objektauflösung	nein	bedingt, bei mehreren Scanebenen	ja
Technologien	Puls-Radar, FMCW, FSK	Puls-Trigger, Sampling-Messung, Phasen-Messung	CMOS, CCD, FIR
Einbauposition	offen/verdeckt, EM-durchlässiges Material	offen/verdeckt, IR-durchlässiges Material	hinter der Windschutzscheibe, FIR-durchlässiges Material
Witterungsempfindlichkeit	wenig	Nebel, Schnee, Regen (wenig)	Nebel, Schnee, Regen (wenig)
Verschmutzungs-empfindlichkeit	wenig	bedingt	ja, aber oft im wischbaren Bereich
Objektbildung	anhand Entfernung und Geschwindigkeit	anhand räumlicher Ausdehnung	bedingt, sehr verschiedene Ansätze
Objektklassifikation	bedingt	bedingt	ja: Spur, Verkehrszeichen, Personen
Randbedingungen	Frequenzallokation	Laserklasse 1	

Kameras

Kameras bieten im Gegensatz zu den entfernungsmessenden Prinzipien von Radar und Lidar ein hochaufgelöstes Bild der Fahrumgebung. Da die Kontrastverhältnisse im Straßenverkehr (Verkehrsschild vor tiefstehender Sonne, Tunnelausfahrt) oft sehr groß sind, werden fast nur noch hochdynamische Kameras (12 Bit Dynamikbereich) eingesetzt. Während für die Spurerkennung Grauwertkameras ausreichen, sind für eine zuverlässige Ampeldetektion Farbkameras notwendig, wie detaillierte Untersuchungen in INVENT-FUE gezeigt haben.

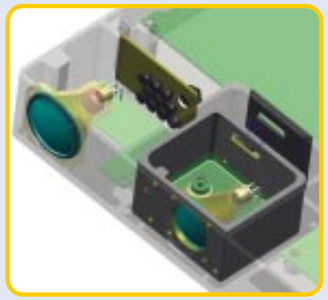
Bei der Herstellung der Kamerachips unterscheidet man CCD und CMOS Technologien, deren spezifische Unterschiede (Empfindlichkeit, Herstellungskosten, usw.) von Fall zu Fall abgewogen werden müssen. Um die 2D-Information einer Monokamera mit Entfernungsinformation zu verknüpfen, verwendet man Stereokameras mit einer horizontalen Basis, wie das Augenpaar beim Menschen, und bestimmt die Disparitäten zwischen den beiden Bildern – hauptsächlich an vertikalen Kanten – zur Entfernungsbestimmung.

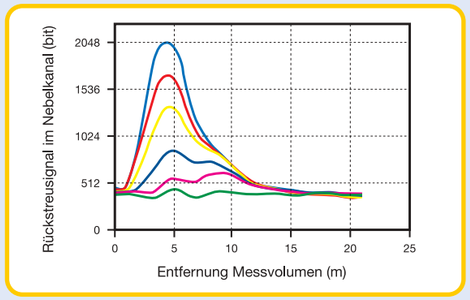
Bewegliche Kameras erlauben, wie scannende Ansätze bei Lidar oder Radar, eine deutliche Vergrößerung des Blickwinkels, benötigen aber eine Steuerung der Blickrichtung z.B. basierend auf der Aufmerksamkeit. Wärmebildkameras (FIR: far infra red) werden, obwohl sie verhältnismäßig hohe Herstellungskosten haben, verstärkt für die Fußgängererkennung benutzt, da die Temperatur des menschlichen Körpers ein zuverlässiges Detektionsmerkmal darstellt.

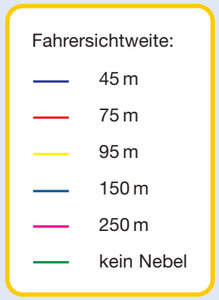
Sichtweitesensor

Während der Projektschwerpunkt bei den oben aufgeführten Sensortechnologien auf der Auswahl, Anpassung und Optimierung lag, wurde im Rahmen des Projektes ein Sichtweitesensor neu entwickelt. Die folgende Abbildung zeigt den Aufbau mit einem Lasersystem sowie den Zusammenhang zwischen gemessener Rückstreuung und vom Menschen empfundener Sichtweite.

Abb. 6: Sichtweitesensor der Hella KG mit Kalibriermesskurven





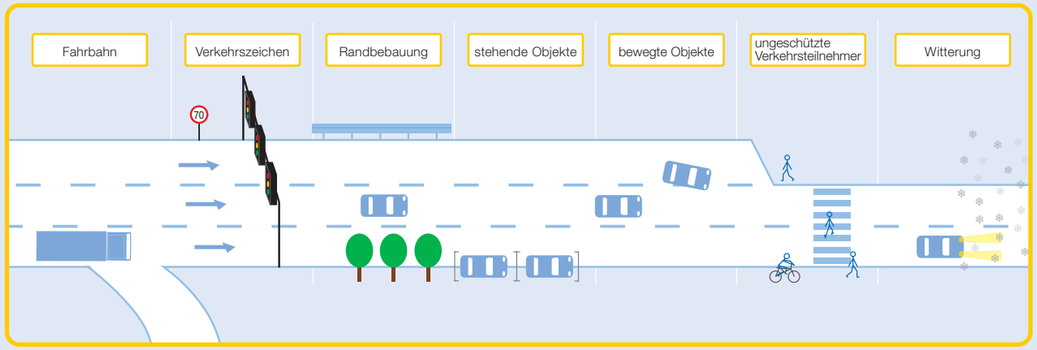


Umfeldmodell und Spezifikation

Im Umfeldmodell werden alle Ergebnisse der multisensoriellen Fahrumgebungserfassung zusammengetragen. Gleichzeitig ist es Schnittstelle zu allen Applikationen. Das Umfeldmodell umfasst alle möglichen Objekte der Fahrumgebung, die in dem sogenannten Objektkatalog gegliedert werden. Der Objektkatalog wurde von allen Projektpartnern gemeinsam aufgestellt und abgeglichen und ist in Abbildung 7 nochmals schematisch dargestellt.

Zu jedem Objekt gibt es eine Anzahl von Attributen, die entweder mit der Sensorik gemessen und bestimmt werden, zum Beispiel Breite, Höhe, Entfernung, Geschwindigkeit, oder aber in Datenbanken bereits erfasst sind, wie Anzahl der Fahrspuren, Zuordnung von Ampeln und Geschwindigkeitsbeschränkungen.

Abb. 7: Bestandteile des Objektkatalogs zur Szenarienbeschreibung



Statische und dynamische Objekte

Bei den Objekten unterscheidet man bewusst zwischen statischen Objekten (d.h. Objekte, die zur Infrastruktur gehören, wie Fahrspuren, Verkehrszeichen oder Randbebauung) und dynamischen Objekten.

Die Beschreibung der Bewegung dynamischer Objekte erfolgt durch unterlagerte Dynamikmodelle, die relativ zu objektspezifischen Koordinatensystemen formuliert werden.

Fußgänger (oder ungeschützte Verkehrsteilnehmer im Allgemeinen) werden gesondert behandelt, da sowohl deren Erkennung als auch die dafür notwendigen Form- und Dynamikmodelle (veränderliche Gestalt durch Arm- und Beinbewegungen, abrupte Richtungswechsel möglich) wesentlich komplexer sind als z. B. bei Fahrzeugen.

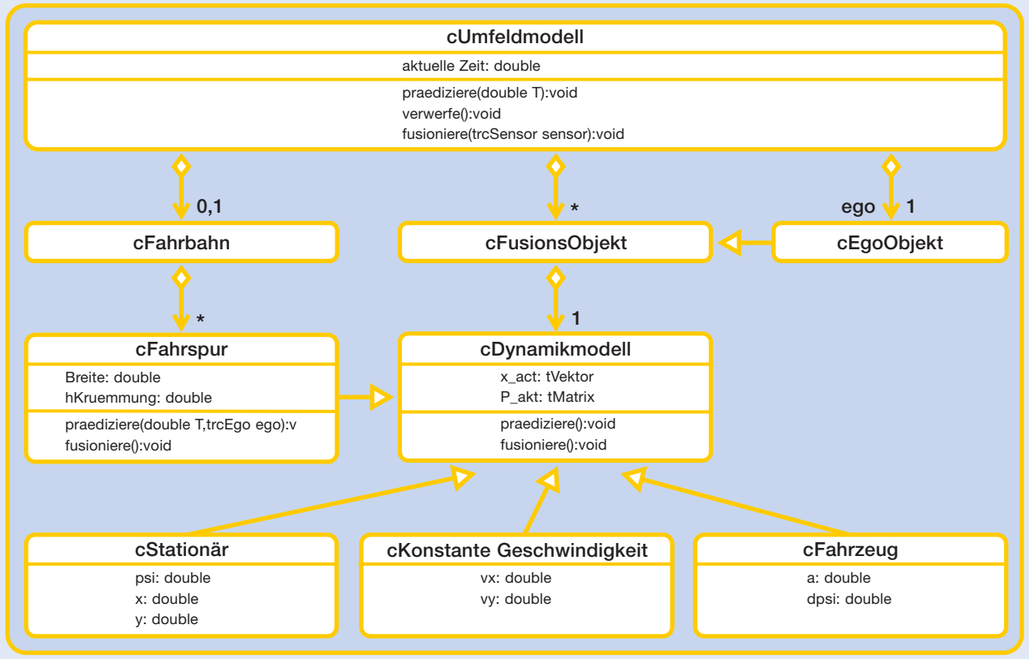
Szenarienspezifikation

Der genannte Objektkatalog dient außer als Basis des Umfeldmodells gleichzeitig auch zur Spezifikation von Szenarien, die von den Applikationen zu erfüllen sind. Auch hier hilft die Aufteilung in unterschiedliche Objektkategorien deutlich.

So sind für stehende Objekte die geometrischen Verhältnisse bekannt oder leicht zu verifizieren, was den Test der Sensorik und der Erkennungsalgorithmen wesentlich erleichtert. Dynamische Szenarien hingegen sind deutlich schwerer nachzustellen, was einen deutlichen Einfluss auf den Bereich der Validierung bedingt, wie im übernächsten Abschnitt noch näher erläutert wird.

Insgesamt gesehen ist ein umfassendes Umfeldmodell der wichtigste Schritt für eine applikationsübergreifende, multisensorielle Fahrumgebungserfassung und muss entsprechend detailliert im Gesamtkonzept berücksichtigt werden. Wie aber das Umfeldmodell mit Objekten und Attributen angefüllt wird, ist Bestandteil des nächsten Abschnittes „Perzeption“.

Abb. 8: Beispiel einer Umfeldmodellierung als UML-Diagramm



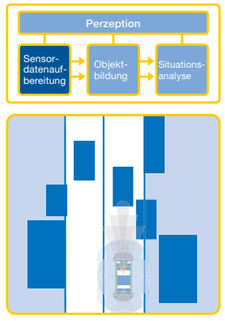
Perzeption

Die Perzeption umfasst drei Schritte, von der Umgebungserfassung mit Sensoren über die algorithmische Objektbildung bis hin zur beschreibenden Situationsanalyse. Es hat sich frühzeitig im Projekt gezeigt, dass eine klare Begriffsbildung sehr hilfreich ist, um die unterschiedlichen Schritte des Wahrnehmungsprozesses in ein durchgängiges Konzept abzubilden. Natürlich ist der menschliche Wahrnehmungsprozess nicht ohne Rückwirkungen und Rückkopplung der einzelnen Verarbeitungsschritte auf vorhergehende, im Modell sind diese aber (noch) nicht eingezeichnet, um die Struktur nicht zu überfrachten.

Unter dieser Voraussetzung wurden für eine multisensorielle, applikationsübergreifende Fahrumgebungserfassung und Interpretation die drei Stufen

- **Sensordatenaufbereitung** (mit besonderer Berücksichtigung der Multisensorik),
- **Objektbildung** (mit dem dynamischen Umfeldmodell als Ergebnis) und
- **Situationsanalyse** (auch als Bindeglied zu den Applikationen)

identifiziert, die im weiteren detailliert beschrieben sind.



Sensordatenaufbereitung

Der Block Sensordatenaufbereitung (auch als Sensor Refinement bezeichnet) berücksichtigt in besonderer Weise die zusätzlichen Anforderungen eines multisensoriellen Ansatzes. Sobald Sensordaten in Beziehung gesetzt werden müssen, sind sowohl die gegenseitige Lage der Sensoren als auch eine gemeinsame Zeitbasis, sowie alle Eigenschaften der einzelnen Sensoren von großer Bedeutung. Man spricht auch von

- **Ortskalibrierung** (Bestimmung der geometrischen Relation),
- **Zeitsynchronisation** (Bestimmung der zeitlichen Relation) und
- **Sensormodellierung** (Berücksichtigung von Sensoreigenschaften).

Ortskalibrierung

Die Ortskalibrierung von Sensoren unter Berücksichtigung eines gegebenen Koordinatensystems spielt schon beim einzelnen Sensor eine wichtige Rolle. Man spricht z.B. von der Kamerakalibrierung, wenn die Abbildung des 3D-Umfeldes auf den in der Kamera eingebauten 2D-Chip (externe Freiheitsgrade und interne Parameter) ausgemessen und berücksichtigt wird.

Als Bezugspunkt für das Koordinatensystem wird meist das Eigenfahrzeug verwendet, das natürlich mit ortsgebundener Information z.B. von Navigationskarten entsprechend in Verbindung gebracht werden muss. Im Rahmen von INVENT entstand ein Glossar für alle verwendeten Begriffe.

Während die Ortskalibrierung von Sensoren zum Einbauzeitpunkt mit speziellen Kalibrierkörpern gängige Praxis ist, besteht im Bereich der Autokalibrierung, z.B. dem automatischen Anpassen der Kalibrierparameter bei Alterung, noch wenig Erfahrung. Zumindestens sollte die Sensorfusion diesen Punkt in der Algorithmik überwachen, wenn sich z.B. die geometrische Relation zwischen Kamera und Radar verändert.

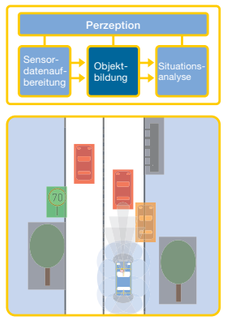
Zeitliche Synchronisation

Da sich die Objekte im Verkehrsumfeld oft mit hoher Geschwindigkeit bewegen, ist eine gemeinsame Zeitbasis eine fast unverzichtbare Voraussetzung für einen multisensoriellen Ansatz. Stereokameras z.B. werden synchron betrieben, um beide Messungen zum gleichen Zeitpunkt zu erhalten. Radar- und Lidarsysteme, die zur Abstandsregelung eingesetzt werden, haben hingegen oft noch keine Synchronisationseingänge. Alternativ können auch asynchrone Systeme verwendet werden, wenn die Messungen mit einem Zeitstempel versehen werden (Ereignissteuerung), der von einer gemeinsamen Systemuhr (Master-Clock) geliefert wird. Im Rahmen des Projektes wurden ferner die Möglichkeiten und technische Aspekte der zeitgesteuerten Netzwerkarchitektur FlexRay (siehe auch www.FlexRay.Com) hinsichtlich einer Eignung für die Sensorvernetzung detailliert untersucht und positiv beurteilt.

Sensormodellierung

Während bei heute üblichen Ein-Sensor-Systemen die speziellen Eigenschaften eines Sensors oft nur in der Verarbeitungskette der Perzeption implizit berücksichtigt werden, ist es für Multisensorsysteme fast unabdingbar, alle bekannten und benötigten Sensoreigenschaften in Sensormodellen zu hinterlegen und dann bei der Fusion explizit zu verwenden. Nur dann ist es möglich, Eigenschaften der einzelnen Sensoren (wie Reichweite, Öffnungswinkel) auch bei Änderungen (z.B. anderes Kameraobjektiv) effizient zu berücksichtigen.

Zu der Sensormodellierung gehört auch die formale Beschreibung, wie die einzelnen Bestandteile der Fahrumgebung durch den entsprechenden Sensor abgebildet werden und wie exakt diese Messungen sind (Sensorrauschen).



Objektbildung

Der Baustein Objektbildung (auch analog zu oben Objekt-Refinement genannt) enthält gewissermaßen die drei klassischen Bestandteile einer Erkennungsaufgabe. In der Masse der Sensordaten müssen zunächst Objekte detektiert und gebildet werden. Gefundene Objekte müssen zugeordnet und über die Zeit verfolgt werden. Neben den direkt messbaren Objektattributen wie Größe, Entfernung und Geschwindigkeit, können aus den Objektmerkmalen auch Metadaten (Objekt ist Fußgänger oder Auto, Bedeutung eines Verkehrsschildes) meist durch Klassifikation abgeleitet werden. Man kann somit folgende drei Schritte identifizieren, die teilweise nacheinander, häufig aber auch abwechselnd und rückgekoppelt, gelöst werden:

- **Objektdetektion und Objektbildung,**
- **Objektzuordnung und Objektverfolgung,**
- **Objektattributierung und Objektklassifikation.**

Die Vielfalt von Erkennungsverfahren für unterschiedliche Sensoren, Objekte und weitere Randbedingungen kann hier auch nicht annähernd behandelt werden, trotzdem sollen für jeden Teilschritt typische Ansatzpunkte und Lösungsprobleme kurz angesprochen werden.

Objektdetektion und Objektbildung

Die Objektdetektion bzw. Objektbildung ist meist der erste Schritt, um aus den verteilten Daten der Sensorerfassung konkrete Objekte zu bilden. Beim Fernbereichsradar können z.B. Reflexionspunkte, die nahe genug beieinander liegen und die gleiche Relativgeschwindigkeit besitzen, zu einem Objekt zusammengefasst werden. Ähnliches gilt für Lidar-Systeme, auch hier werden z.B. Scanpunkte, die die gleiche Entfernung besitzen und benachbart sind, im ersten Schritt zu einer Objekthypothese zusammengefasst.

In 2D-Bildern aus der Video-Sensorik ist es oft komplex zu entscheiden, welche benachbarten Pixel zu einem Objekt gehören. Hier gibt es eine Vielzahl von Detektionsmethoden, die Merkmale wie Form, Farbe, Kanten oder auch den optischen Fluss benutzen.

Je genauer bekannt ist, welche Objekte gesucht sind, umso einfacher ist es im Prinzip, diese aus dem Datenstrom der Sensorik zu extrahieren. Bei der Fahrumgebungserfassung aber handelt es sich im Vergleich zu anderen Erkennungsproblemen oft um besonders anspruchsvolle Aufgaben, da weder das Umfeld mit Infrastruktur noch die anderen Verkehrsteilnehmer einfach zu modellieren sind.

Objektzuordnung und Objektverfolgung

Die Objektzuordnung betrifft sowohl die Identifikation desselben Objektes in unterschiedlichen Sensordaten als auch die Objektverfolgung über die Zeit.

Sofern die Orts- und Zeitkalibrierung der Multisensorik genügend genau erfolgen kann, ist auch die Zuordnung von Objektinstanzen in den unterschiedlichen Sensordatenströmen lösbar. Hier ist eventuell zu unterscheiden, wie die unterschiedlichen Sensoren fusioniert werden, entweder gewissermaßen gleichberechtigt oder aber mit einem Master-Sensor (oft die Bildverarbeitung), der notwendige und hilfreiche Zusatzinformation von anderen Sensoren mitverwendet (z.B. Vorauswahl von interessierenden Regionen im Bild durch Radar/Lidar-Sensorik oder auch nur Bestimmung von zusätzlichen Attributen wie Entfernung und Geschwindigkeit).

Die Objektverfolgung, oft auch Tracking genannt, berücksichtigt die zeitliche Abfolge der Sensordaten und umfasst häufig auch die Prädiktion des Bewegungsverhaltens von Objekten. Bei der modellbasierten Spurerkennung zum Beispiel spielt das Tracking eine ausgezeichnete, aktive Rolle im Erkennungsprozess (Auswahl der Messpunkte/-werte, Update des Modells und erneute Prädiktion) und wird häufig mit Kalmanfiltern umgesetzt.

Bei der Ampelerkennung, die gewöhnlich datengetrieben erfolgt, ist die Aufgabe des Trackings die Bildung von Korrespondenzen in aufeinander folgenden Bildern. Hier dient der Tracker auch dazu, fehlende Objektdetektionen in Einzelbildern zu überspringen oder fehlerhafte Objekthypothesen, die sporadisch auftauchen, zu unterdrücken.

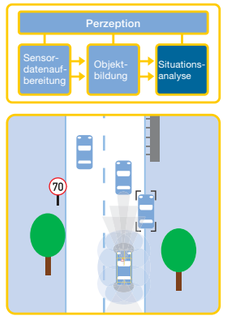
Abb. 9: Die drei Stufen der Objektbildung am Beispiel der Verkehrszeichenerkennung

Objektattributierung und Objektklassifikation

Die Objektattributierung erfolgt im Umfeldmodell. Hier bietet die Multisensorik den Vorteil, dass die einzelnen Attribute wie Größe, Entfernung, Geschwindigkeit teilweise mehrfach von unterschiedlichen Sensoren gemessen werden und sich auch entsprechend ergänzen können.

Diese Redundanz und Komplementarität trägt maßgebend zur Robustheit und Zuverlässigkeit der multisensoriellen Umgebungserfassung bei. Natürlich müssen Konfliktfälle bei der Eintragung entsprechend berücksichtigt werden.

Die Objektklassifikation ist bereits der erste Schritt, die attributierten Objekte mit Meta-Information zu versehen. Ob ein detektiertes Objekt ein Fußgänger ist oder nicht, kann oft mit statistischen Klassifikatoren verifiziert werden, die je nach verwendeter Sensorik eine Vielzahl von Merkmalen in der Entscheidung berücksichtigen. Auch die Erkennung von Verkehrsschildern beinhaltet gewöhnlich eine Klassifikationsaufgabe.



Situationsanalyse

Der dritte Block der Perzeption, hier Situationsanalyse bzw. Situation Refinement genannt, definiert und beschreibt die Beziehungen zwischen den gefundenen Objekten, wie zum Beispiel Einscherer oder Gassenfahrt bei der Funktion des Stauassistenten.

Abhängig von der Komplexität der Applikation (Abstandsanzeige, Abstandswarnung, Abstandsregeltempomat, Stauassistent, Notbremsung, usw.) sind unterschiedliche Abstraktionsstufen bei der Situationsanalyse (Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug, Berücksichtigung der eigenen Geschwindigkeit, Einscherer-Situation, mögliche Ausweichmanöver, usw.) denkbar bzw. erforderlich. Neben den Daten aus der Umgebungserfassung kann auch Vorwissen z.B. aus digitalen Karten einfließen und Kommunikation mit anderen Fahrzeugen und/oder der Infrastruktur verwendet werden. Die gesamte verfügbare Information über die aktuelle Situation wird wie bei der Objektebene im nun erweiterten Umfeldmodell abgespeichert und steht allen Applikationen gemeinsam zur Verfügung. Für ein Fahrerassistenzsystem ist die Situationsanalyse auch im engen Zusammenhang mit der Aktionsplanung und der Risikobewertung (risk assessment), also den Stufen, die nach der Perzeption folgen, zu betrachten. Denn nur die abwägende Betrachtung der aktuellen Verkehrssituation mit der eigenen Aktionsplanung erlaubt eine Risikobewertung und somit eine entsprechende Handlungsableitung.

Im Gegensatz zum gemeinsam im Projekt erarbeiteten und definierten Umfeldmodell, gibt es bei der Situationsanalyse noch deutlich unterschiedliche Ansätze. Zum heutigen Zeitpunkt ist noch nicht klar trennbar, welche Teile der Situationsanalyse applikationsunabhängig umgesetzt werden können und welche Teile der Situationsbewertung gemeinsam mit der Funktionsauslegung erfolgen müssen.

Validierung

Ein wichtiger Grund für das vorgeschlagene, umfassende Umfeldmodell ist die Möglichkeit, dort alle Ergebnisse, auch Zwischenergebnisse, der multisensoriellen Umgebungserfassung systematisch validieren zu können – und zwar unabhängig von hierauf aufbauenden Funktionen und Applikationen.

Für die Validierung kann zunächst davon ausgegangen werden, dass die Leistungsmerkmale der einzelnen Sensoren entsprechend den Spezifikationen getestet werden und diesen Anforderungen genügen.

Das Zusammenspiel der Multisensorik hingegen ist deutlich komplexer zu validieren, auch wenn hier die klare Abtrennung der Umgebungserfassung von den Funktionen bzw. Applikationen hilft. Im Projekt haben sich zwei Lösungsmöglichkeiten herauskristallisiert, die sowohl die direkte Interaktion mit dem Entwickler im Fahrzeug erlauben, als auch die detaillierte nachträgliche Auswertung im Labor:

- **Online-Visualisierung** (für qualitative Bewertung im Versuchsträger)
- **Offline-Validierung** (für quantitative Analyse und Optimierung im Labor)

Abb. 10: Beispiele der Online-Visualisierung in den Prototypen der Projektpartner

Online-Visualisierung des Umfeldmodells

Die Online-Visualisierung, entweder direkt im Videobild oder auch durch virtuelle Bilder (oft aus der Vogelperspektive), hat sich als äußerst hilfreich herausgestellt, um den Entwicklern einen schnellen, qualitativen Überblick über die Ergebnisse der Umfelderfassung zu geben.

Wie in der Abbildung 10 an einigen Beispielen zu sehen ist, werden die Erkennungsergebnisse, wie Fahrzeuge oder Spurmarkierungen, direkt ins Bild eingezeichnet. Falls keine Videoaufnahmen zur Verfügung stehen oder der Erfassungsbereich anderer Sensorik größer als das Kamerablickfeld ist, bietet es sich an, die erkannten Objekte in ein virtuelles Bild einzuzeichnen, wobei meist die Vogelperspektive gewählt wird.

Diese Vorgehensweise hat sich nicht nur direkt im Fahrzeug (z.B. auch bei den Vorführungen anlässlich der Abschlusspräsentation), sondern auch bei der Betrachtung von Referenzdaten im Labor eindrucksvoll bestätigt.

Abb. 11: Beispiel einer Verkehrszeichendatenbank

Offline-Validierung der Umgebungserfassung

Neben der Online-Visualisierung hat sich die komplette Aufzeichnung aller Sensormesswerte während Versuchsfahrten und eine Archivierung in Datenbanken als wichtige Hilfe bei der Validierung bewährt. Wie bereits erwähnt, kann das Umfeldmodell mit Objektkatalog auch als Prüfvorschrift für die Funktionsspezifikationen dienen. Der Prüfkatalog enthält dann eine Auswahl repräsentativer Referenzszenarien. Je nach Anwendung können diese Versuchsanordnungen auf einem Testgelände nachgestellt und aufgenommen werden, z.B. bei der Erkennung von Fahrradfahrern oder Fußgängern, oder aber es erfolgen Versuchsfahrten auf vorher vermessenen Teststrecken, z.B. um die Erkennung von Spurmarkierung zu testen. Alternativ werden aber auch möglichst viele Fahrten im normalen Straßenverkehr – mit abgeschalteter oder modifizierter Funktion, falls zum Beispiel bei einer Notbremsung Fehlalarme noch nicht ausgeschlossen werden können – aufgenommen und in Datenbanken abgelegt.

Der Vorteil bei umfangreichen Datenbanken ist, dass diese nicht nur zur Validierung der Erkennungsalgorithmik genützt werden, sondern für den kompletten Prozess der Adaption, Evaluierung und Optimierung von Erkennungsverfahren nützlich sind. Für die Erkennung von Verkehrszeichen, hier insbesondere von Vorfahrtszeichen und Ampeln, existieren inzwischen umfangreiche Datenbanken auch mit GPS-Daten (global positioning system), die die gleichen Zeichen zu unterschiedlichen Aufnahmebedingungen wie Kameraposition, Uhrzeit und Witterung umfassen. Für das Arbeiten mit Datenbanken ist es weiterhin effizient, alle erfassten und wichtigen Objekte einmalig von Hand zu kennzeichnen (Ground-Truth) – oft mit aktiver Unterstützung des untersuchten Erkennungssystems – und dann bei Änderungen von Systemparametern oder beim Vergleich von verschiedenen Systemen, automatisch solche Szenen herauszufiltern, bei denen es Unterschiede gibt.

Ausblick

Fahrerassistenzsysteme haben ein hohes Potenzial zur Verbesserung von Verkehrssicherheit, Fahrkomfort und Ressourceneinsatz. Eine Grundvoraussetzung für alle intelligenten Assistenzsysteme ist eine sichere und genaue Erfassung und Interpretation der Fahrumgebung.

Im Gegensatz zu den heutigen Einzelansätzen mit jeweils eigener Sensorik und eigenem Steuergerät wird es in Zukunft vernetzte Systeme geben, die durch den gemeinsamen Zugriff auf alle verfügbaren Sensoren ein umfassendes Umfeldmodell erzeugen können. Dieses Umfeldmodell ermöglicht, zusammen mit den entsprechenden Anwendungen, die den Fahrer informieren, warnen und bei Gefahr auch eingreifen, gewissermaßen eine elektronische Schutzhülle um das Fahrzeug. Damit stellt die Fahrumgebungserfassung einen wichtigen Schritt von der passiven Sicherheit hin zu der aktiven Sicherheit dar.

Vorausschauende, Aktive Sicherheit – VAS

Projektpartner

AUDI AG
BMW Group
DaimlerChrysler AG
MAN Nutzfahrzeuge AG
Robert Bosch GmbH
Siemens Restraint Systems GmbH
Siemens VDO Automotive AG
Volkswagen AG

Zusammenfassung

Fahrerassistenzsysteme und spezielle Sicherheitsfahrfunktionen können gerade im Stadtverkehr und auf der Landstraße helfen, die Zahl der Verkehrsunfälle – insbesondere solcher mit schwer und tödlich verletzten Unfallopfern – zu reduzieren, schwächere Verkehrsteilnehmer zu schützen und Unfallfolgen zu verringern. Das INVENT-Teilprojekt Vorausschauende Aktive Sicherheit untersuchte die Möglichkeiten solcher Systeme.

Basierend auf einer Analyse von typischen Unfallursachen und -abläufen identifizierten die Projektpartner vier Entwicklungsschwerpunkte, definierten Teilfunktionen für die entsprechenden Assistenzsysteme und setzen sie in ersten Prototypen um. Eines der Ziele war es, die wichtigsten Fragestellungen für Gefahren an Kreuzungen und auf Landstraßen zu erforschen. Mit der Definition dieser Zielsetzung war allen Projektpartnern bewusst, dass damit ein bisher noch wenig forschungsmäßig bearbeitetes Terrain betreten wurde. Daher und aufgrund der Komplexität der adressierten Verkehrssituationen konnte dieser Themenkomplex während der Projektlaufzeit nur teilweise untersucht werden. Deshalb konzentrierten sich die Arbeiten darauf, die Machbarkeit einzelner Assistenzfunktionen zu zeigen. Dennoch zeigt die erarbeitete Roadmap der VAS-Funktionen das erhebliche Potenzial der Fahrerassistenzsysteme für den Kreuzungsbereich zur Unfallminderung und Unfallverhinderung auf. Gleiches gilt für die Systeme zur Querführungsassistenz, zum Fußgänger- und Radfahrerschutz und zur Prädiktiven Fahrdynamikregelung.

Die ausgewählten Lösungsvarianten wurden in Simulationsstudien, im Fahrsimulator und in prototypisch ausgerüsteten Versuchsfahrzeugen realisiert. Zur Optimierung der Gesamtfunktionalität und zur Bewertung der Lösungen dienten Tests im Fahrsimulator, auf Teststrecken und im realen Verkehr. Im Hinblick auf die Serientauglichkeit müssen diese Lösungsansätze in Zukunft noch weiter untersucht und verfeinert werden.

Zielsetzung

Ziel des Projektes **„Vorausschauende Aktive Sicherheit“** bestand in der Konzeption und protoypischen Realisierung von Sicherheits-Assistenzsystemen, die den Fahrer in komplexen Verkehrssituationen unterstützen und so dazu beitragen, Unfälle zu verhindern bzw. die Unfallschwere zu mindern. Die Auswahl und Spezifikation dieser Assistenzsysteme basiert einerseits auf der Analyse von Unfallursachen und -abläufen und andererseits auf der Analyse von Fahrfehlern sowie der Ermittlung des Unterstützungsbedarfs der Fahrer.

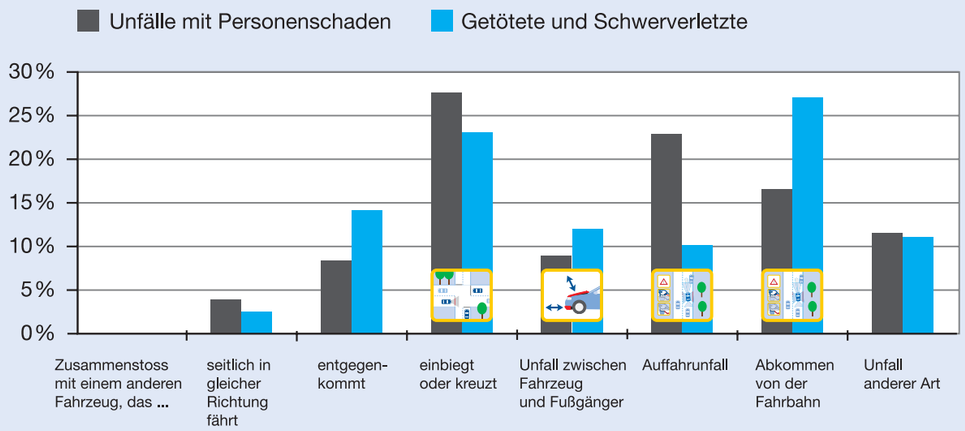
Ergebnisse

Von der Statistik lernen – VAS Assistenzsysteme

Bei rund 85 % aller Unfälle mit Personenschaden ist die Unfallursache auf den Fahrzeugführer zurückzuführen. Etwa 65 % dieser Unfälle beruhen auf Fahrfehlern, die auf Fehleinschätzungen, Ablenkung und Übermüdung der Autofahrer zurückzuführen sind. Ein Großteil dieser Unfälle könnte mit aktiven Sicherheitssystemen, die den Fahrer situationsangepaßt informieren, warnen oder gestuft eingreifen, vermieden bzw. zumindest die Schwere der Unfallfolgen vermindert werden.

Die Unfallstatistiken des Jahres 2003 zeigten, dass sich nach wie vor die meisten Unfälle mit Personenschaden innerorts ereignen, dabei sind 25 % aller Unfalltoten zu beklagen. Auf Autobahnen wurden dagegen nur 6,4 % aller Personenunfälle mit 12 % Getöteten registriert. Die folgenreichsten Unfälle ereignen sich außerorts (ohne Autobahn) mit ca. 29 % aller Personenunfälle, aber mit 63 % der Getöteten. Auch die Unfallstatistik 2004 weist ähnliche Zahlenverhältnisse aus.

Abb. 1: Straßenverkehrsunfälle 2004 (Januar bis Juli) inner- und außerhalb von Ortschaften nach Unfallart



Die Zahlen des Statistischen Bundesamtes für Januar bis Juli 2004 (Abb. 1) zeigen:

- Kollisionen mit einbiegenden und kreuzenden Fahrzeugen machen mit 28,5 % der Unfälle mit Personenschaden einen erheblichen Anteil aus. Auf diese Unfallart entfallen insgesamt 27,5 % aller leicht verletzten, 18,4 % aller schwer verletzten und 13,4 % aller getöteten Personen.
- Ca. 23 % der Unfälle mit Personenschaden sind Auffahrunfälle, die durch Zusammenstöße mit einem Hindernis auf der Fahrbahn oder mit einem Fahrzeug, das vorausfährt, anfährt, anhält oder im ruhenden Verkehr steht, entstehen.

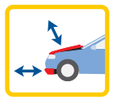
– 9,3 % der Unfälle mit Personenschaden entfallen auf die Unfallart „Zusammenstoß zwischen Fahrzeug und Fußgänger“. 12 % aller Menschen, die im Straßenverkehr ihr Leben verloren, starben bei Zusammenstößen zwischen Fahrzeug und Fußgänger.
– Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn bilden zusammen mehr als 16 % der Unfälle mit Personenschaden. Auf diese Unfallart entfallen 12 % leicht verletzte, ca. 23 % schwer verletzte und 37 % getötete Personen.

Die vier adressierten Applikationsschwerpunkte des Teilprojektes VAS tragen diesen Beobachtungen Rechnung:

Querführungsassistenz: Schutz vor Seitenkollisionen und Abkommen von der Fahrbahn, Absicherung von Ausweich- und Spurwechselmanövern sowie Kompensation von Störgrößen aus der Fahrumgebung

Prädiktive Fahrdynamikregelung: Spurhaltung während eines Stabilisierungseingriffs durch zusätzliche Lenk- und/oder Bremseingriffe, Spurerkennung über Videosensorik

Kreuzungsassistenz: Schutz vor Vorfahrtmissachtung (Ampel- und Stoppschilder), Abbiegeassistenz, Gegenverkehrsassistenz beim Linksabbiegen, Unterstützung beim Finden und Erreichen der Abbiegespur



Fußgängerschutz: Schutz der schwachen Verkehrsteilnehmer

Trotz der Vielfalt der VAS-Systeme und Funktionsausprägungen konnte eine einheitliche Struktur identifiziert werden. Die adressierten Assistenzsysteme bestehen jeweils aus vier wesentlichen Systemkomponenten:

Abb. 2:
Architektur der VAS-Assistenzfunktionen

Situationserfassung: Sensoren (Radar, Lidar, Video, Fahrzeugsensorik, Karten, Navigation) dienen zur Erfassung der Umgebung und des eigenen Fahrzeugzustands und damit zur Erfassung der für die spezielle Fahrsituation wesentlichen Objekte und Merkmale und zur ersten Datenauswertung.

Situationsinterpretation: Aus den Daten der Umgebungserfassung wird die Situation analysiert. Dabei erfolgt eine Bewertung der Fahrsituation und Ermittlung des Gefährdungspotenzials unter Berücksichtigung der Kollisionswahrscheinlichkeit in Kombination mit einer Risikoabschätzung für die aktuelle Situation und deren zeitlicher Entwicklung.

Handlungsableitung und Aktionsplanung: Unter Berücksichtigung der jeweils technischen Möglichkeiten wurde am Entwurf einer geeigneten und gestuften Assistenzstrategie gearbeitet im Sinne von informieren, warnen, aktiv eingreifen, Aktivierung von Schutzsystemen und an der Definition von Warnzeitpunkten.

Aktionsausführung: Umfasst das Interface zum Fahrer, mit optischer, akustischer und haptischer Warnung und Informationen, sowie die Schnittstellen zur Fahrzeugregelung mit aktiven Eingriffen in die Bremse, das Motormanagement, die Lenkung und die klassischen Fahrdynamikfunktionen zur Fahrzeugstabilisierung (ESP, DSC), sowie die aktive Ansteuerung reversibler Stoßfängersysteme und flexibler Elemente im Motorhaubenbereich.

Sicher in der Spur – Querführungsassistenz

Die Querführungsassistenzsysteme unterstützen den Fahrer bei der Spurhaltung und bei Spurwechseln. Mehrere Teilfunktionen dieser Assistenzsysteme wurden im Teilprojekt VAS prototypisch umgesetzt:

– Unterstützung bei der Spurführung
– Warnung bei ungewolltem Verlassen der Fahrspur
– Unterstützung bei Spurwechsel
– Kompensation von Störgrößen aus der Umgebung
– Ausweichassistenz

Der Querführungsassistent unterstützt den Fahrer beim Halten und beim Wechseln der Fahrspur, ohne ihn aber aus dem Regelkreis herauszunehmen. Dieses System sichert hierzu die vom Fahrer gewollten Spurwechselmanöver ab. Zusätzlich verhindert es ein ungewolltes Abkommen des Fahrzeuges von der Fahrbahn, das seine Ursache in einer Ablenkung oder in Ermüdungserscheinungen des Fahrers haben kann.

Das System überwacht mittels Bildverarbeitung kontinuierlich den Straßenverlauf und die Bewegung des Fahrzeugs innerhalb der Spurbegrenzungen. Droht das Fahrzeug von der Spur abzukommen, informiert das System sofort den Fahrer – etwa über haptisches Feedback am Lenkrad. Dieses haptische Feedback am Lenkrad wurde sowohl in einer Vibration als Warnung als auch einer leichten Gegenkraft als Führung ausgelegt.

Abb. 3: Querführungs-Versuchsträger von AUDI

Zusätzliche Sensoren wie Radar oder Lidar liefern Informationen aus der Fahrzeugumgebung. Dazu zählen auch Informationen über andere Verkehrsteilnehmer im Front-, Seiten- und Rückraum. So lassen sich Spurwechselmanöver absichern und mögliche Unachtsamkeiten des Fahrers können durch gezielte Warnungen ausgeglichen oder vermieden werden. Zur Spurwechselabsicherung entwickelten die Projektpartner Algorithmen zur Erkennung gefährlicher Situationen, erarbeiteten und testeten mehrstufige Konzepte für die Mensch-Maschine-Schnittstelle. Beispiele für solche Gefahrenwarnungen sind optische Signale im Außenspiegel, Vibrationen im Blinkerhebel oder Lenkrad oder auch ein geringes gerichtetes Lenkradmoment.

Analog zum Querführungsassistent für PKW wurde eine Lösung für schwere Nutzfahrzeuge untersucht. Der Prototyp dieses Systems wurde ebenfalls auf der Abschlusspräsentation vorgestellt. Dieser beobachtet den umgebenden Verkehr und gibt Empfehlungen zum Fahrspurwechsel. Bei Bedarf wird die Geschwindigkeit dem umgebenden Verkehr angepasst.

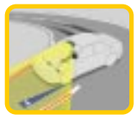
Abb. 4: Querführungs-Versuchsträger von BMW

Sogar automatisches Ausweichen nach Bestätigung durch den Fahrer ist möglich: Sobald der Blinker gesetzt wird, prüft der Assistent, ob die Spur gefahrlos gewechselt werden kann. Falls ja, sieht der Fahrer ein grün blinkendes Symbol im Außenspiegel und ein entsprechendes Symbol auf dem Display. Wenn der Fahrer die Aktion bestätigt, wechselt der LKW die Spur automatisch. Ist ein Spurwechsel nicht möglich, wird der Fahrer durch ein rotes Signal im Außenspiegel gewarnt. Zusätzlich erkennt das Fahrerassistenzsystem, wenn ein langsameres Fahrzeug voranfährt und schlägt einen Spurwechsel vor.

Die direkte und automatische Kompensation von Störungen vermindert u.a. den Einfluss von Seitenwind, Straßenneigung und Spurrillen. Dies geschieht in einem weiteren Prototypen durch ein Steer-by-Wire-System ohne durchgehende mechanische Verbindung von Lenkrad zu Lenkgetriebe. Der Fahrer muss nicht selbst handeln und wird so deutlich entlastet. Diese Störgrößenkompensation bewährte sich bereits auf einer Seitenwindanlage in Aschheim.

Die Kompensation dieser fahrdynamischen Störungen bei Nutzfahrzeugen ist ein wichtiger Beitrag zur Reduzierung der notwendigen fahrerischen Lenkarbeit, da der Fahrer selbst nicht tätig werden muss und führt damit zu einer deutlichen Entlastung des Fahrers.

Abb. 5: Querführungs-Versuchsträger von MAN



Sicher auf der Strasse – Prädiktive Fahrdynamikregelung

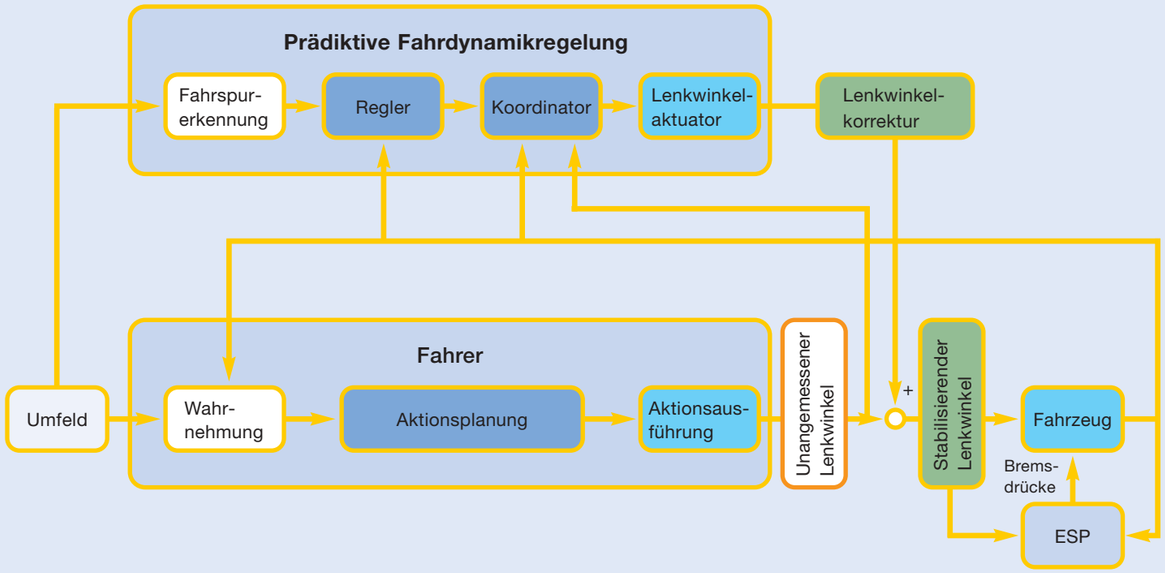
Heutige Fahrdynamikregelsysteme, die keine Sensoren zur Umgebungserfassung haben, gehen davon aus, dass der vom Fahrer vorgegebene Lenkwinkel seinem Richtungswunsch entspricht. Fahrversuche im Projekt VAS zeigten jedoch, dass diese Annahme besonders in instabilen und unerwarteten Fahrsituationen oft falsch ist, wenn der Fahrer zum Beispiel verzögert oder übertrieben reagiert.

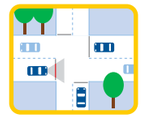
Die Prädiktive Fahrdynamikregelung (PFDR) nutzt deshalb videobasierte Umgebungssensorik zur Erkennung des Fahrbahnverlaufs – und damit der realen Gegebenheiten. Durch aktive Lenkeingriffe kann das System die Fahrzeugbewegung innerhalb der Fahrspur stabilisieren. Dabei berücksichtigt es auch das kritische Fahrzeugverhalten am Limit der von den Reifen übertragbaren Querkräfte. Die adaptive Regelung basiert auf einem nichtlinearen Modell mit einer integrierten Schätzung der Fahrspurparameter, der an Vorder- und Hinterachse wirksamen Reibwerte und des Schwimmwinkels.

Das integrierte Schätzverfahren und das Regelungssystem PFDR wurden in der Simulationsumgebung MATLAB/SIMULINK implementiert und in Verbindung mit dem komplexen Fahrzeugsimulationsmodell CarSim getestet. Bei der Modellierung des Fahrerverhaltens für die Simulation wurden dabei die Beobachtungen aus Fahrversuchen berücksichtigt.

In Simulationen wurde gezeigt, dass sich durch dieses VAS-System gegenüber einer konventionellen Fahrdynamikregelung mit Brems- und Lenkeingriffen und ohne Verwendung von Umgebungsinformationen ein echter Zusatznutzen erzielen lässt. In kritischen Situationen, mit denen konventionelle Systeme überfordert waren, konnte der neue Systemansatz das Fahrzeug sicher stabilisieren.

Abb. 6: Funktionsprinzip der Prädiktiven Fahrdynamikregelung von Bosch



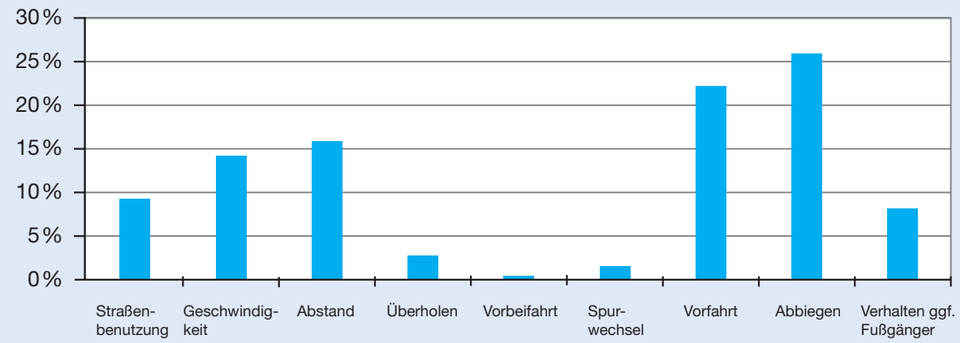


Mit vergrößertem Blickfeld sicher über die Kreuzung – Kreuzungsassistenz

Mit rund 60 Prozent ereignen sich die meisten Unfälle im Stadtverkehr an Kreuzungen. Ein Grund ist sicherlich darin zu sehen, dass die Komplexität der Verkehrssituationen an Kreuzungen steigt und damit die Anforderungen an den Fahrer zunehmen.

Neben Fehlern in der Abstandshaltung – also nicht angepasste Geschwindigkeit und unzureichender Sicherheitsabstand – entstehen solche Unfälle durch Vorfahrtsmissachtungen und Fehler beim Abbiegen, also beim Ein-/Abbiegen, Wenden und Rückwärtsfahren (vgl. Abb. 2). Daher untersuchten die Partner der „Kreuzungsassistenz“ insbesondere die Teilfunktionen „Vorfahrt- und Ampelassistent“ sowie „Gegenverkehrsassistent bei Linksabbiegemanövern“ und realisierten sie als Prototypen.

Abb. 7: Ursachen von Straßenverkehrsunfällen mit Personenschäden (Januar - Juli 2004)



Ampel- und Vorfahrtsassistenz

Bereits zur Mitte der Projektlaufzeit wurde ein erster Prototyp der Ampel- und Vorfahrtsassistenz dargestellt. Weil das Nichtbeachten eines Vorfahrtsschilds oder einer Ampel rund 81 Prozent aller Vorfahrtsunfälle verursacht, lag ein Schwerpunkt zunächst auf der automatischen Stoppschild- und Ampel-Erkennung. Dazu wurden Kameras und Bildbearbeitungsverfahren sowie Satellitenortungsverfahren eingesetzt. Neben bewegten Kameras wurden zur verlässlichen Erkennung des Signalisierungszustands von Ampeln auch Farbkameras eingesetzt. Diese Assistenzsysteme sind mit akustischer und optischer Warnung sowie einer Warnbremsung ausgestattet. Zusätzlich wurde die Funktion um eine automatische Gefahrenbremsung erweitert, um die Qualität der Sensorinformation zu zeigen.

Abb. 8: Versuchsträger zur Kreuzungsassistenz: Stoppschild- und Ampelassistenz mit Stereo-Kameras und monokularer Farbkamera im Versuchsträger DaimlerChrysler

Abb. 9: Versuchsträger zur Kreuzungsassistenz: Stoppschild-Erkennung mit DGPS im Versuchsträger und im Fahrsimulator von BMW

Abb. 10: Versuchsträger zur Kreuzungsassistenz: Stoppschild-Erkennung mit DGPS und monokularer Kamera im Versuchsträger von Bosch

Ein- und Abbiege-Assistenz

Zur Vermeidung von Ein- und Abbiegeunfällen (Fehler beim Abbiegen, Wenden, Rückwärtsfahren, Einordnung in den fließenden Verkehr), die immerhin ca. 26 % der Unfallursachen betragen, wurden diese ersten Prototypen der Kreuzungsassistenz in der zweiten Projektlaufzeit noch um den zusätzlichen Blick zur Seite und auch auf andere eigenbewegte Verkehrsteilnehmer bzw. Objekte im Gegen- und Querverkehr – Fahrzeuge, Radfahrer und Fußgänger – erweitert.

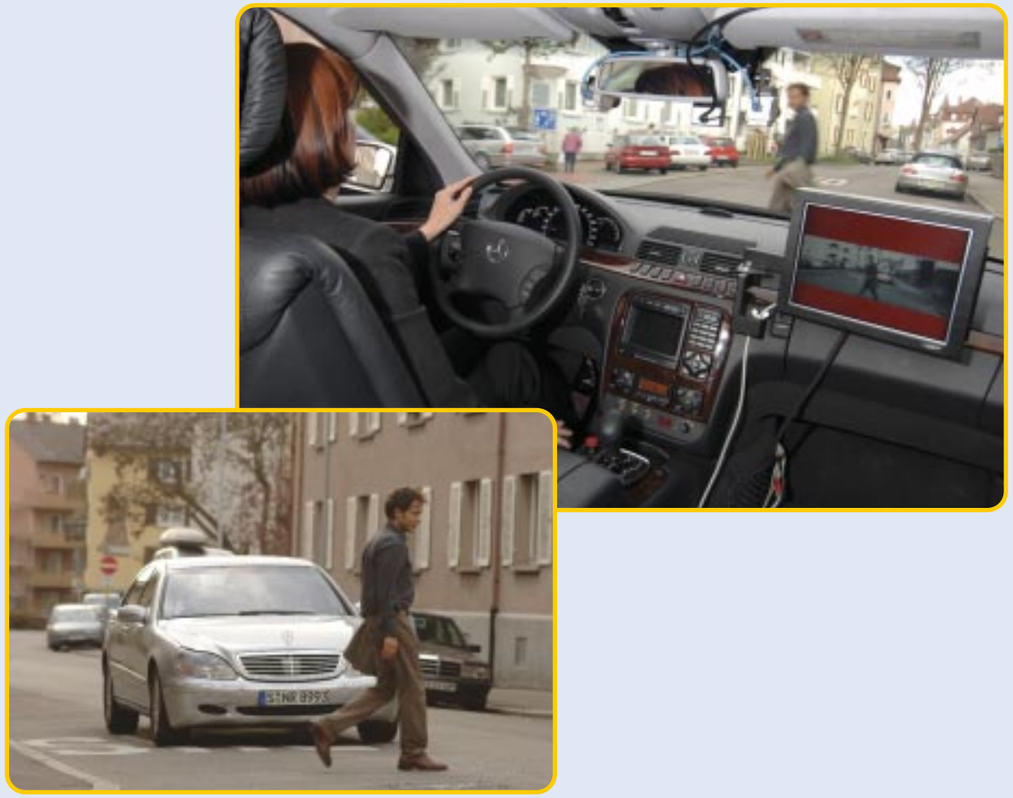
Gegenverkehrsassistent beim Linksabbiegen: Untersuchungen im Teilprojekt FVM bestätigen die Unfallstatistik, dass Linksabbiegen über die Gegenfahrbahn zu den schwierigsten Fahrmanövern an Kreuzungen zählt. Deshalb wurde hierfür eine weitere Funktion prototypisch realisiert. Bei akuter Kollisionsgefahr mit einem entgegenkommenden Fahrzeug erhält der Fahrer eine optische und/oder akustische Fahrerwarnung, oder das Assistenzsystem greift zum Zweck einer Anfahrverhinderung aktiv per Bremseingriff ein. Der Prototyp für den Gegenverkehrsassistenten wurde mit der erforderlichen Messtechnik zur Umfelderfassung (Long Range RADAR), den Rechnersystemen für die Funktionssteuerung und den Komponenten für die MMI-Realisierung ausgerüstet.

Abb. 11: Versuchsträger Kreuzungsassistenz: Gegenverkehrsassistent beim Linksabbiegen im Versuchsträger von Bosch

Unterstützung bei „Rechts-vor-Links“-Situationen: Fehlverhalten von Verkehrsteilnehmern wie die Verletzung der „Rechts-vor-Links“-Regel ist eine weitere Unfallursache. Bei den Unfällen mit Vorfahrtsverletzungen beträgt der Anteil der Verletzung der „Rechts-vor-Links“-Regel ca. 15 %. Immerhin sind 6 % aller Ursachen von Staßenverkehrsunfällen mit Personenschaden innerorts auf Fehlverhalten von Fußgängern und Radfahrern zurückzuführen. Bei der Entwicklung der entsprechenden Assistenzfunktionen für „querenden Verkehr“ steht die Erkennung der Eigenbewegung des potentiellen Kollisionsgegners im Vordergrund. Dabei ist es zunächst nicht relevant, ob es sich um ein Auto, einen Radfahrer oder Fußgänger handelt. Die Prototypen sind sowohl mit einem aktiven Stereokamerasystem (Versuchsträger FUE) als auch mit einer monokularen Kamera (Versuchsträger VAS) und den jeweiligen erforderlichen Erkennungsalgorithmen ausgerüstet. Die Erkennungsalgorithmen dienen der Bewegungsanalyse und basieren auf dem optischen Fluß.

Wenn das System einen Verkehrsteilnehmer bzw. ein bewegtes Objekt detektiert, welches droht die Fahrbahn zu überqueren, wird der Fahrer zunächst optisch und akustisch gewarnt. Reagiert der Fahrer nicht, erfolgt eine haptische Warnbremsung.

Abb. 12: Versuchsträger Kreuzungsassistenz: Bewegungsanalyse mit monokularer Kamera auf der Basis des optischen Flusses im Querverkehrsassistenz-Versuchsträger von DaimlerChrysler



Mit Informationen vorbeugen – Kreuzungsannäherungsassistenz

Parallel zu den aktiven Warn- und Eingriffsfunktionen der Kreuzungsassistenz in erkannten Gefahrensituationen sollen weitere Ausprägungen mit informierendem und – je nach Dringlichkeit – warnendem Charakter dem Fahrer schon die Phase der Kreuzungsannäherung erleichtern.

Zum Beispiel kann das System in Verbindung mit einem Navigationssystem den Fahrer über die Kreuzungstopologie oder die Vorfahrtsregelung informieren und das Einordnen in die richtige Fahrspur erleichtern. Die benötigten Informationen zur Unterstützung bei Kreuzungsannäherung können beispielsweise mit Hilfe erweiterter digitaler Karten und einer genauen Satellitenortung generiert werden. Damit kann bspw. das Einordnen auf den richtigen Fahrstreifen erleichtert werden. Eine Unterstützung vor und während des Spurwechsels mit Überwachung des Raums hinter und neben dem Fahrzeug wurde ebenfalls entwickelt und prototypisch in einem Versuchsfahrzeug realisiert. Über haptische, optische und akustische Rückmeldungen werden die Fahrer vor gefährlichen Situationen gewarnt.

Abb. 13: Versuchsträger Kreuzungsassistenz: Unterstützung beim Einordnen in die Navigationsspur im Versuchsträger von BMW

Eine Erweiterung der Navigationsunterstützung ist denkbar, indem der Fahrer zusätzlich zu Routeninformationen und Abbiegehinweisen über die auf seiner gewählten Route geltenden Vorfahrtsregelungen vorrausschauend informiert wird.

Abb. 14: Versuchsträger Kreuzungsassistenz: Unterstützung durch Navigation mit erweiterter Funktion im Versuchsträger von DaimlerChrysler

Langfristig (In 300m rechts abbiegen)	Mittelfristig (In 100m rechts abbiegen)	Zusatzinfo (Vorfahrt gewähren)	Kurzfristig (Jetzt rechts)
Telefon wird durchgestellt	Telefon wird unterdrückt		
Wechselt für die Dauer des Telefonates auf die optische Navigationsinformation	MFD-Displayinformation bleibt bestehen		
Akustische Navigationsausgabe wird für die Dauer des Telefonates unterdrückt	akustische Navigationsausgabe bleibt bestehen		

In Verbindung mit einem situationsangepaßten Warn- und Informationsmanagement (WIM) soll der Fahrer nicht nur auf die anstehenden Fahraufgaben vorbereitet, sondern seine Aufmerksamkeit gezielt auf die Bewältigung der Fahraufgabe gelenkt werden. Das Warn- und Informationsmanagement priorisiert gleichzeitig vorliegende Meldungen und gibt diese entsprechend aus. Dabei wird die aktuelle Fahrsituation, die aus digitalen Straßenkarten und Fahrzeugdaten abgeleitet werden kann, berücksichtigt und zusätzlich die geltende Vorfahrtsregelung in das Ausgabekonzept integriert. Die Fahrsituation wird dabei prinzipiell binär in anspruchsvoll/nicht anspruchsvoll klassifiziert und setzt sich aus der Klassifikation des Streckenabschnitts (z.B. Ortseinfahrten, Kreuzungen) und der Klassifikation des durchzuführenden Fahrmanövers (z.B. Beschleunigung, Lenkbewegungen) zusammen. Über optische und akustische Rückmeldungen werden die Fahrer so vor potenziell gefährlichen Situationen gewarnt.

Rücksichtnehmen auf schwache Verkehrsteilnehmer – Fußgänger- und Radfahrerschutz

Fußgänger und Radfahrer sind die am wenigsten geschützten Verkehrsteilnehmer und sind somit die schwächsten Verkehrsteilnehmer. Speziell für ihren Schutz wurden Lösungsansätze entwickelt, die möglicherweise Leben retten, zumindest aber Unfallfolgen mindern können: Dabei handelt es sich um Sicherheitssysteme im PKW, die bei Unaufmerksamkeit des Fahrers und in gefährlichen Situationen den schwächeren Verkehrsteilnehmer warnen können und am Fahrzeug bei drohender Kollision reversible Schutzmechanismen auslösen. Die Warnung der Fußgänger ist besonders nützlich, weil diese schneller reagieren, also stehen bleiben oder ausweichen können.
Durch Precrash-Sensorik (24GHz Radar) und Kontaktsensorik können vor drohenden Kollisionen Schutzmechanismen wie reversible Stoßfängersysteme oder flexible Elemente im Motorhaubenbereich aktiviert werden, die sich bei einem tatsächlichen Aufprall deformieren und so eine Knautschzone für den schwächeren Verkehrsteilnehmer bilden.

Abb. 15: Verkehrsteilnehmer ohne eigene „Knautschzone“ sollen durch aktivierbare Schutzmechanismen von Siemens VDO und Siemens Restraint Systems am Kraftfahrzeug besser geschüzt werden

In einem Versuchsträger ist eine 24 GHz Radarsensorik und Aktuatorik zur reversiblen Motorhaubenanhebung verbaut. Aufgrund der vorherrschenden Verkehrssituation, die von der Sensorik jedoch kaum vollständig erfasst werden kann, wird die Aktivierung von Schutzmechanismen im Fahrzeugfrontbereich zur Verletzungsminderung der meist völlig ungeschützten Verkehrsteilnehmer ausgelöst.

Die geforderte Sensorspezifikation für die Fußgänger- und Radfahrerdetektion wurde zuerst mit einer 24 GHz Nahfeld-Radarsensor Konfiguration, bestehend aus 5 Einzelsensoren, getestet. Da die fünf Radarmodule als Einzelstrahler ausgeführt waren, war für eine laterale Positionsbestimmung eine Datenfusion der einzelnen Sensoren mittels Triangulation/Multilateration notwendig. Prinzipbedingt nahm dadurch die Positionsgenauigkeit mit der Entfernung ab. Um dieser physikalischen Unzulänglichkeit entgegenzuwirken wurde innerhalb FUE die Entwicklung von winkelauflösenden 24 GHz Radarsensoren vorangetrieben. In einem letzten Optimierungsschritt wurden in der Fahrzeugfront 3 winkelauflösenden Radarsensoren im Versuchsträger verbaut. Erste Benchmark Ergebnisse zwischen der alten Konfiguration aus 5 Einzelstrahlern und der jetzigen Konfiguration mit 3 winkelauflösende Radarsensoren zeigen eine deutlich bessere Positionsbestimmung, besonders in komplexeren Verkehrszenarien. In Kombination mit einer prädiktiven Fahrspurvorhersage konnte mit letzterer Sensorkonfiguration auch die Fußgängerwarnung mittels Fahrzeughupe erfolgreich demonstriert werden.

Abb. 16: Versuchsträger Fußgängerschutz von Siemens VDO und Siemens Restraint Systems: Fahrzeugfront mit den auf dem Querträger montierten 3 winkel-auflösenden Radarsensoren

Die Erkennung von Fußgängern und Radfahrern mittels Radarwellen ist prinzipbedingt nicht möglich, da keine personentypische Klassifizierung möglich ist. Vielmehr werden die Radarsignale auf typische Merkmale und Signaturen untersucht, wie sie von Personen reflektiert werden. Andere Objekte, wie z.B. ein Baum oder eine Mülltonne, die ähnliche Signalcharakteristiken haben, können daher nicht unterschieden werden.

Für den angedachten Fußgängerschutz spielt diese Fehlklassifizierung jedoch nur eine untergeordnete Rolle, da im Falle eines Zusammenstoßes die Auslösung des Schutzsystemes (Kühlerhauben-Anhebung und Spoiler-Verschiebung) konzeptbedingt auf jeden Fall erfolgt, um das Risiko einer Nicht-Auslösung bei einem Fußgänger zu eliminieren. Aufgrund der reversiblen Aktuatorik ist eine zusätzliche Auslösung auch für andere Objekte tolerierbar.

Die Fahrer-System-Schnittstelle beschränkt sich bei dieser Applikation auf geeignete Fahrerwarnstrategien (indirekte Fahrerinformation durch Warnhupe für Fußgänger). Zur Datenanalyse und Funktionsvalidierung der Sensordetektion wird ein TFT Monitor im Fahrgastraum verwendet. Ein Hupensignal zur Warnung des Fußgängers wurde eingehend in Bezug auf Einsetzbarkeit und Effizienz hin untersucht. Die Motorhaubenaktuatorik und die Spoiler-Verstellung werden selbstständig und ohne jede Fahreraktion von der im Fahrzeug befindlichen Steuereinheit (PC) zum richtigen Zeitpunkt aktiviert und reversibel in den Ausgangszustand zurückgefahren.

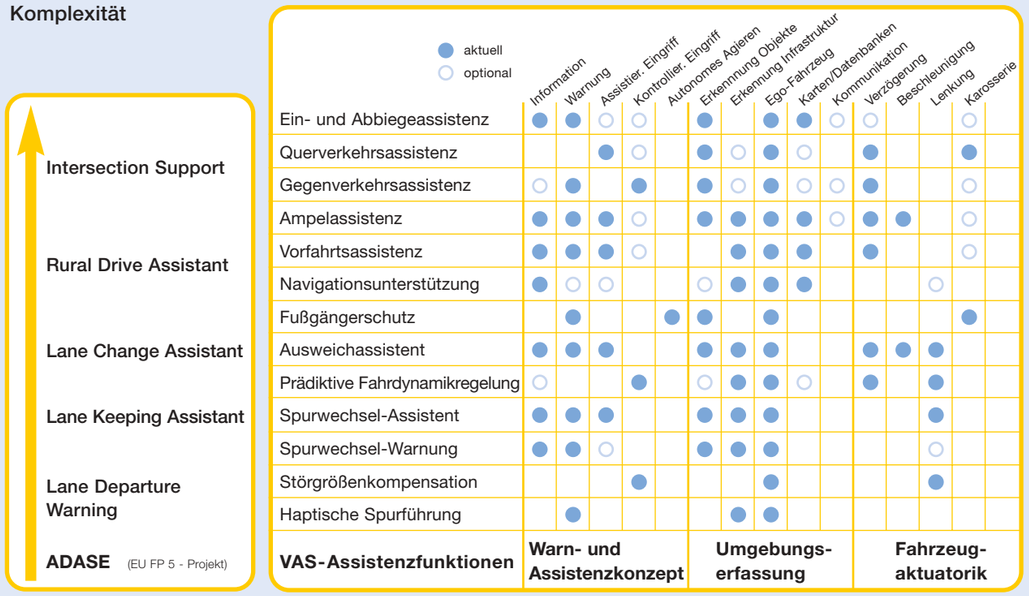
Abb. 17: Versuchsträger Fußgängerschutz von Siemens VDO und Siemens Restraint Systems: Aktuatorik zur Anhebung der Motorhaube am Fahrzeug. Scharnier mit pneumatischem Muskel und Magnetventil, Pralldämpfer und Spoilermechanik

Die zusätzliche Spoilerverschiebung nach vorne und unten sorgt zusammen mit einer in der Steifigkeit veränderbaren Frontstruktur (adaptive Pralldämpfer) auch für ein geringeres Verletzungsrisiko im Beinbereich des Fußgängers oder Radfahrers.

Optionen für die Zukunft – Roadmap der VAS-Systeme

Die VAS-Partner haben eine gemeinsame Roadmap für die Funktionen der Vorausschauende Aktive Sicherheit erarbeitet. Die Zielsetzung war, einerseits einen Bezug zur im EU geförderten Projekt ADASE2 erstellen Roadmap herzustellen, andererseits aber auch der Vielfalt der VAS-Assistenzsysteme und deren Funktionsausprägungen gerecht zu werden.

Abb. 18: Roadmap der VAS-Assistenzfunktionen



Um den gewünschten Bezug zur ADASE-Roadmap herzustellen, besteht die erstellte Roadmap (Abb. 18) aus zwei Teilen. In der linken Hälfte sind die ADASE Funktionen auszugsweise und entsprechend ihrer Komplexität auf einem Strahl angeordnet dargestellt. Der rechte Teil repräsentiert die VAS-Assistenzfunktionen. Die Zeilen auf der rechten Seite stellen die unterschiedlichen Funktionsausprägungen der VAS-Assistenzfunktionen dar. In den Spalten werden neben den unterschiedlichen Assistenzstrategien auch die Anforderungen an die Umgebungserfassung und die Aktuatorik berücksichtigt. Ausgefüllte Markierungen in der Matrix repräsentieren die im Rahmen der Projektlaufzeit von VAS prototypisch dargestellten Einzelfunktionen (aktuell). Erweiterungsmöglichkeiten und Optionen werden von einem nicht ausgefüllten Kreis (optional) symbolisiert.

Bewertung und Ausblick

Fahrerassistenzsysteme und spezielle Sicherheitsmechanismen können gerade im Stadtverkehr und auf der Landstraße helfen, Unfälle zu vermeiden und andere Verkehrsteilnehmer zu schützen. Das INVENT-Teilprojekt **Vorausschauende Aktive Sicherheit** hat die Machbarkeit solcher Systeme analysiert und basierend auf einer Analyse von Unfallursachen und -abläufen Teilfunktionen spezifiziert und dargestellt.

Nach der ersten Sichtung der Unfalldaten wurden die vier VAS-Applikationsschwerpunkte identifiziert. Anschließend wurde eine verfeinerte Unfalldatenanalyse für die jeweils von den Applikationen adressierten Unfallarten durchgeführt und mit den vorhandenen Ergebnissen aus der Fahrerverhaltensanalyse aus dem Teilprojekt FVM abgeglichen und dabei neue applikationsspezifische Fragestellungen identifiziert.

Bereits zu Projektbeginn lag der Schwerpunkt auf der prototypischen Realisierung im Sinne einer Machbarkeitsanalyse. Weitergehende Arbeiten waren auf Grund der Applikationsvielfalt nicht geplant. Damit war dieses Teilprojekt von Anfang an auf weiter in die Zukunft gerichtete Fragestellungen ausgerichtet und besitzt daher einen betont vorwettbewerblichen Charakter. Die damit verbundene weitere Zielsetzung, die wichtigsten Fragestellungen für Assistenzsysteme im Kreuzungsbereich zu identifizieren wurde intensiv bearbeitet. Aufgrund der Komplexität der adressierten Verkehrssituationen ergaben sich komplexe und vielfältige Fragestellungen, die während der Projektlaufzeit jedoch nur ansatzweise beantwortet werden konnten. Gleiches gilt für die Aufgaben im Bereich der Querführung, des Fußgänger- und Radfahrerschutzes sowie der Prädiktiven Fahrdynamikregelung. Dennoch konnte das Projekt die Machbarkeit einzelner für bestimmte Situationen spezifizierte Funktionen aufzeigen und zwar im Sinne einer Machbarkeitsanalyse und der prototypischen Realisierung ausgewählter Funktionen. Unter Berücksichtigung der derzeitigen Machbarkeit der einzelnen Assistenzsysteme wurde eine Roadmap erstellt. Dabei wurden insbesondere die prototypischen Realisierungen, die im Rahmen der Projektlaufzeit dargestellt werden konnten, in Bezug auf Sensorverfügbarkeit und realisierbare Assistenzstrategien berücksichtigt. Darüber hinaus besteht jedoch erhebliches Potenzial zur Erweiterung und Verbesserung der realisierten Funktionen, die ebenfalls in der Roadmap aufgezeigt werden. Die ausgewählten Lösungsvarianten wurden im Laufe des Projektes in Simulationsstudien, im Fahrsimulator und in prototypisch ausgerüsteten Versuchsfahrzeugen realisiert. Zur Optimierung der Gesamtfunktionalität und zur Bewertung der Systeme wurden mit Hilfe dieser Demonstratoren diverse Tests im Fahrsimulator, auf Teststrecken und im realen Verkehr durchgeführt.

Zusammenfassend konnten im Rahmen dieses Teilprojektes tragfähige Ansätze für Assistenzsysteme und spezielle Sicherheitsfunktionen erarbeitet werden, die gerade im Stadtverkehr und auf der Landstraße helfen können, Unfälle zu vermeiden und andere Verkehrsteilnehmer zu schützen. Im Hinblick auf die Realisierung im realen Straßenverkehr und die Serientauglichkeit müssen diese Ansätze weiter untersucht werden, um die Zahl der getöteten und schwer verletzten Personen belegbar und nachhaltig zu reduzieren.

Stauassistent – STA

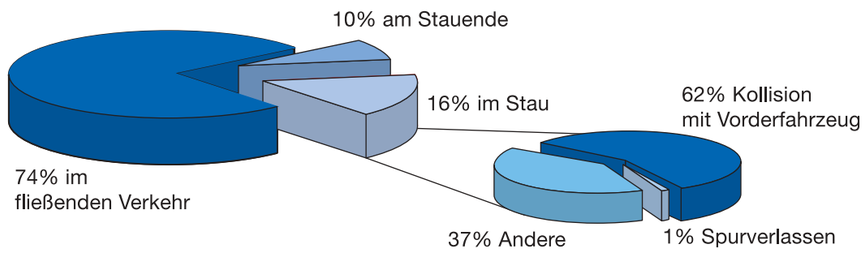
Projektpartner

Adam Opel AG
AUDI AG
MAN Nutzfahrzeuge AG
Robert Bosch GmbH
Siemens VDO Automotive AG

Zusammenfassung

Staus behindern nicht nur den Verkehrsfluss, sie sind anstrengend für den Fahrer und gleichzeitig bedeuten sie ein hohes Sicherheitsrisiko. So passieren beispielsweise im Großraum Köln ein Viertel aller Unfälle am Stauende oder im Stau. Die meisten davon sind Auffahrunfälle. Das zeigt, wie sinnvoll die Erweiterung heutiger Adaptiver Abstands- und Geschwindigkeitsregelung (ACC) durch Stauassistenten ist.
In dem INVENT-Teilprojekt STA lag der Schwerpunkt auf einem System, das in begrenzt komplexen Umgebungen einsetzbar ist. Es kann die Fahrzeugführung in Stausituationen übernehmen – das heißt in Situationen mit geringen Geschwindigkeiten bis hin zum Stillstand bei gleichzeitig hohen Fahrzeugdichten. Der Fahrer wird sowohl in Bezug auf die Längs- als auch auf die Querführung unterstützt. Weiteres Augenmerk lag bei STA auf einer entsprechenden Fahrzeugregelung und dem Einfluss auf den Verkehrsablauf: Dazu gehört ein geringerer Kraftstoffverbrauch sowie ein verbesserter Verkehrsablauf.

Abb. 1: Mehr als ein Viertel aller Unfälle im Großraum Köln sind am Stauende oder im Stau. Davon sind mehr als die Hälfte Auffahrunfälle (Quelle: VRA / Autobahnpolizei Köln)



Gemeinsame Basis und Realisierung

Im Rahmen des Teilprojekts war es besonders wichtig, dass sich alle Partner auf ein einheitliches Grundkonzept einigten. Unterstützend wirkte dabei eine konstruktive und enge Zusammenarbeit mit den anderen Querschnittsprojekten von INVENT. Diese hat die Basis für das gemeinsame Grundkonzept gelegt, nur so konnte gewährleistet werden, dass alle Projektpartner beim Erstellen und Testen der einzelnen Komponenten von denselben Bedingungen ausgingen. Anschließend realisierten die Projektpartner einzelne Ergebnisse und optimierten sie sogleich auch noch im Fahrbetrieb. In einem abschließenden Schritt wurde bei Probandentests die Nutzbarkeit und Akzeptanz der im Projekt entstandenen Stauassistenten-Prototypen untersucht.

Diese Tests zeigten, dass die Fahrer den Stauassistenten bereits in diesem prototypischen Status mit seinen Eigenschaften bzgl. Unterstützung, Entlastung und Komfort positiv wahrnahmen. Gleichzeitig wurde subjektiv ein Sicherheitsgewinn empfunden.

Abb. 2: Wahrnehmungen des Stauassistenten aus Fahrersicht – Ergebnis des Akzeptanztests mit VRA

Ergebnisse

Grundfunktionen des Stauassistenten

Grundsätzlich sollen dem Fahrer bei der teilautomatisierten Fahrzeuglängs- und -querführung nach der Systemaktivierung folgende Fahraufgaben abgenommen werden:

- Abstand zum Vorderfahrzeug einhalten
- Automatisches Beschleunigen und Verzögern bis zum Stillstand hinter einem vorausfahrenden Fahrzeug
- Selbständiges Anfahren innerhalb einer frei applizierbaren Zeitspanne nach dem Anhalten
- Anfahraufforderung an den Fahrer nach Ablauf dieser Zeitspanne und Anfahren nach Fahreraktivität (z.B. Bestätigung über Taste oder Gaspedal)
- Unterstützung bei der Querführung des Fahrzeugs im eigenen Fahrstreifen

Der Grad der Unterstützung bei der Querführung kann dabei von einer Unterstützung mit Lenkeingriff (der Fahrer wird durch spürbare Momente der Lenkung auf der Spur geführt) bis hin zur autonomen Querführung (ohne Hände am Lenkrad) reichen.
Bis jetzt gibt es jedoch immer noch Einschränkungen bei der Umfeldsensorik in Bezug auf Erfassungsbereich, Sicherheit der Objekterkennung und Situationsinterpretation. Aus diesem Grund hat der Stauassistent eine Begrenzung der Maximalwerte und Änderungsgeschwindigkeiten der Stellgrößen. Diese Randbedingungen führen zu den Grenzen des Systems. Werden diese überschritten, dann muss der Fahrer die Fahraufgabe wieder vollständig vom System übernehmen. Darüber hinaus hat der Fahrer auch jederzeit die Möglichkeit, das Assistenzsystem zu übersteuern oder zu deaktivieren. Das heißt, der Stauassistent wird zunächst vor allem den Komfort des Fahrers verbessern und nur indirekt – über die Entlastung des Fahrers und eine kontinuierliche Fahrzeugführung – einen Sicherheitsgewinn erzielen. Unfälle, die heute durch Unachtsamkeit der Fahrer entstehen, können so vermieden werden. Sondersituationen wie plötzlich einscherende und stark verzögernde Fahrzeuge werden jedoch noch nicht vollständig beherrscht.

Stauassistent für Autobahn und Landstraße

Da mit der heutigen Umfeldsensorik und -interpretation nicht alle komplexen Situationen im innerstädtischen Bereich (Kreuzungsbereich und Verzweigungen, unterschiedlichste Randbebauungen und Verdeckungen, Fußgänger) zu erfassen sind, ist das System vorerst nur für einfach strukturierte Umgebungen konzipiert. Auf Autobahnen und gut ausgebauten Landstraßen ist der Komplexitätsgrad der Situationen und der Streckenführungen geringer und damit die Beherrschbarkeit durch die Umgebungserfassung möglich.

Situationsanalyse und Funktionsspezifikation

Was wird von einem Stauassistenten erwartet? Um diese Frage zu beantworten und damit eine fundierte Ausgangslage zu schaffen, einigten sich die Projektpartner zunächst darauf, die Funktionsgrenzen und Einsatzszenarien genau zu definieren.
Diese Punkte wurden im weiteren Verlauf, teilweise in Zusammenarbeit mit anderen INVENT-Teilprojekten oder mit Unterauftragnehmern, angegangen.

Marktanalyse

Entscheidend für ein erfolgreiches Stauassistenzsystem ist die Akzeptanz durch den Nutzer. Doch was will der Nutzer? Um das herauszufinden, fand zunächst in Zusammenarbeit mit dem INVENT-Teilprojekt VRA (TÜV Rheinland) eine erste Kundenbefragung in Form von Gruppeninterviews statt. Anschließend führte der TÜV Rheinland noch eine vertiefende Multimediabefragung durch. In beiden Fällen unterstützte das INVENT-Teilprojekt STA die Befragungen in Form von Funktionsbeschreibungen, Fragestellungen und Diskussion/Reflexion der Vorgehensweise.

Komplexe Informationen

Bei den Befragungen stellte sich heraus, dass es schwierig ist, den zukünftigen Nutzern die komplexen Informationen über Funktionsweise und Grenzen des Systems zu vermitteln. Für viele war es eine große Herausforderung, sich abstrakt mit dem System auseinanderzusetzen, ohne es je gefahren zu sein. Besonders schwierig war es für die Probanden, sich über im Alltag unbewusst kontrollierte Größen wie Abstand, Stärke des Bremseingriffes etc. zu äußern. So war ein wichtiges Ergebnis der Befragung, dass die geplante Akzeptanzstudie in der letzten Projektphase auf jeden Fall mit unterschiedlichen Funktionstypen stattfinden muss.

Die Ergebnisse der Kundenbefragungen machten außerdem Tendenzen für die Spezifikation und Auslegung des Stauassistenten offensichtlich und wurden entsprechend bei der Weiterarbeit berücksichtigt. So wurden beispielsweise Präferenzen deutlich, dass die Kunden den Stauassistenten am liebsten so ausgelegt hätten, dass große Abstände zum Vorderfahrzeug eingehalten werden. Und das Anfahren nach dem Stillstand sollte möglichst vollautomatisch stattfinden und unmittelbar beginnen, wenn das Vorderfahrzeug losfährt.

Analyse der Verkehrssituation Stau

Auch wenn es auf den ersten Blick nicht so aussieht: Ein Stau ist eine komplexe Verkehrssituation. Daher war es im Rahmen des Projekts wichtig, eine genaue Analyse und auch Abgrenzung einer solchen Situation aus Fahrer- und Systemsicht zu erstellen. Diese Aufgabe übernahm im Auftrag der Partner die Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen Aachen (fka).
Ziel war es, innerhalb des Staus verschiedene Situationsklassen zu identifizieren, in denen sich der Fahrer in einer typischen, für die jeweilige Situation charakteristischen und reproduzierbaren Weise verhält.
Dazu wurden Fahrversuche mit Probanden und speziell ausgerüsteten Messfahrzeugen im Stau durchgeführt. Anschließend konnte eine Situationsklassifikation aus der Sicht des Fahrers erstellt werden. Dafür wurde der Fahrer mehrere Male befragt, um für verschiedene Situationen eine Einschätzung zu bekommen: Aus subjektiver Sicht, während der Fahrt und in einer Nachbesprechung.
Während der Fahrt zeichneten Messgeräte außerdem Daten vom eigenen Fahrzeug auf und des über Sensorik erfassten umgebenden Verkehrs. So ließen sich Parameter identifizieren, anhand derer eine objektive Unterscheidung der vom Fahrer subjektiv wahrgenommenen Situationsklassen möglich ist.
Zusätzlich beinhalteten die Messdaten Informationen über das Fahrerverhalten (Beschleunigung, Geschwindigkeit, Abstand) in den einzelnen Situationen unter Berücksichtigung des Fahrzeugtyps (Pkw/Lkw) und der Fahrumgebung (Autobahn/Stadt). So liegen nun charakteristische Verhaltensdaten der einzelnen Situationen vor.

Ergebnis dieser Arbeiten: Es liegt jetzt ein Algorithmus vor, der auf Basis im Fahrzeug verfügbarer Sensorinformationen online eine Situationserkennung im Stau durchführt. Außerdem wurde eine Datenbank erstellt, mit Mittelwerten und Streubändern typischer Fahrerreaktionen in diesen Situationen.

Erlernbarkeit und Systemgrenzen

Eng mit dem Systemkonzept verbunden sind Fragen der Assistenzstrategien, der Systemgrenzen und der Gestaltung des Übergangs zwischen ACC und STA. Die Arbeiten zu diesen Themen unterstützte auch das INVENT-Teilprojekt FVM. Damit ein System wie der Stauassistent erfolgreich sein kann, ist es wichtig, dass er vom Nutzer verstanden und akzeptiert wird. Das heißt vor allem, dass die Technik und die Bedienung des Stauassistenzsystems relativ leicht zu erlernen sein muss. Diese Punkte müssen bei der Entwicklung der Assistenzstragien berücksichtigt werden. Gleichzeitig zeigen sie auch die Systemgrenzen auf.
Das INVENT-Teilprojekt FVM hatte zu den Grundsätzen der Erlernbarkeit von Assistenzsystemen bereits ein Projekt in Zusammenarbeit mit dem Interdisziplinären Zentrum für Verkehrswissenschaften (IZVW) der Universität Würzburg laufen. Dieses Projekt wurde von den STA-Partnern mit der vorläufigen Spezifikation zweier verschiedener Varianten des Stauassistenzsystems sowie eines automatischen Querführungsregleransatzes für die Simulatorimplementierung unterstützt.

Die Untersuchungen zeigten u.a., dass der Fahrer die technische Aufgliederung in eine Fahrzeug-Längs- und -Querführung nur schwer nachvollzieht. Da sich ihm die Aufgabe der Fahrzeugführung ganzheitlich darstellt, hat er Schwierigkeiten mit dem Verständnis des Systems, wenn unterschiedliche Wirkbereiche – zum Beispiel unterschiedliche Geschwindigkeitsgrenzen – bei Unterstützungen in der Längs- und der Querführung auftreten.
Die Konsequenz daraus für die Systemauslegung eines Stauassistenten war, dass die Teilfunktionen der Längs- und Querführung von ihren Systemgrenzen wie beispielsweise dem Geschwindigkeitsbereich in dem sie wirken, gekoppelt wurden.

Erstellung eines Gesamtkonzepts

Diese ersten Ergebnisse der Voruntersuchungen und der Zusammenarbeit mit den anderen INVENT-Teilprojekten lieferten die entsprechende Basis, um die angedachte Funktionsidee eines Stauassistenzsystems genauer zu spezifizieren. Aus der Vielzahl möglicher Ausprägungen des STA-Systems wurden vier Varianten ausgewählt, die für eine weitere Umsetzung zielführend erschienen. Diese können in folgende Kategorien unterschieden werden:

Kategorie Zielobjektpräsenz:

Variante „Follow“: Es muss immer ein vorausfahrendes Fahrzeug vorhanden sein. Das System deaktiviert sich nach dem Verlust des Führungsfahrzeugs.

Variante „Cruise“: Auch ohne ein direktes Zielobjekt innerhalb des definierten Vorausschaubereichs fährt der Stauassistent automatisch. Bei freier Fahrt beschleunigt das System bis zur aktuell gültigen Geschwindigkeitsobergrenze.

Kategorie Objekterkennung:

Variante „Moving/Stopping“: Reaktion auf sich bewegende und stehende Objekte, die anfänglich als bewegt detektiert wurden.

Variante „Stationary“: Reaktion auf bewegte und stehende Objekte, auch wenn diese zunächst nicht als bewegt detektiert wurden.

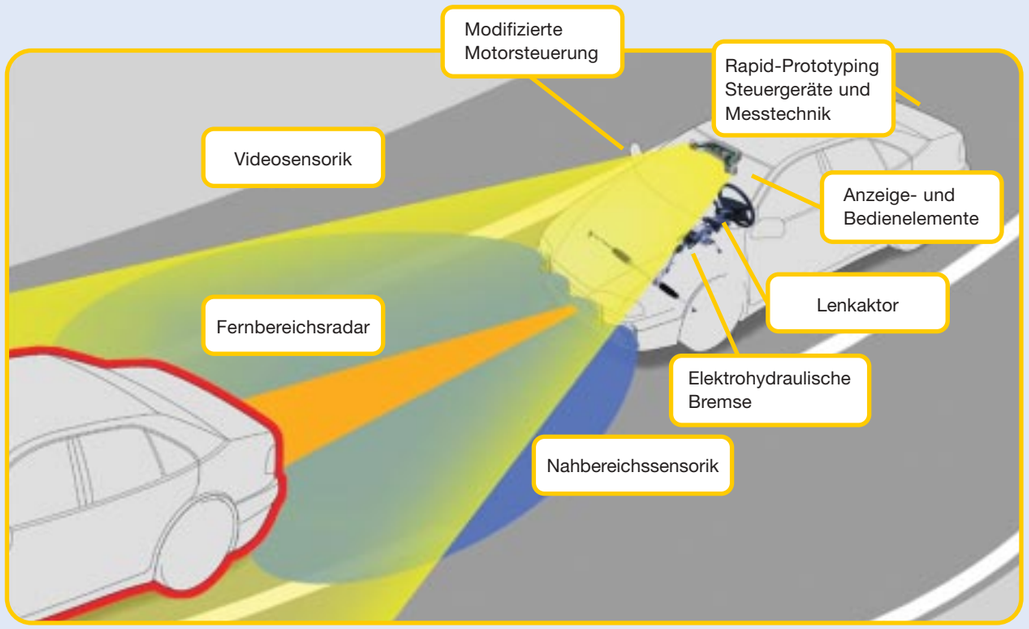
Kategorie Lenkunterstützung:

Variante „Hands-On“: Betrieb nur mit den Händen am Lenkrad.

Variante „Hands-Off“: Betrieb auch ohne Hände am Lenkrad.

Mit der Definition der Varianten wurde die Erstellung des Gesamtkonzepts abgeschlossen. Die genaue Spezifikation dieser Varianten ist in einem ausführlichen Dokument zusammengestellt, das vom formalen Aufbau angelehnt ist an die Funktionsbeschreibungen des Projektes „Response“.

Abb. 3: Prinzipbild Stauassistent-Komponenten

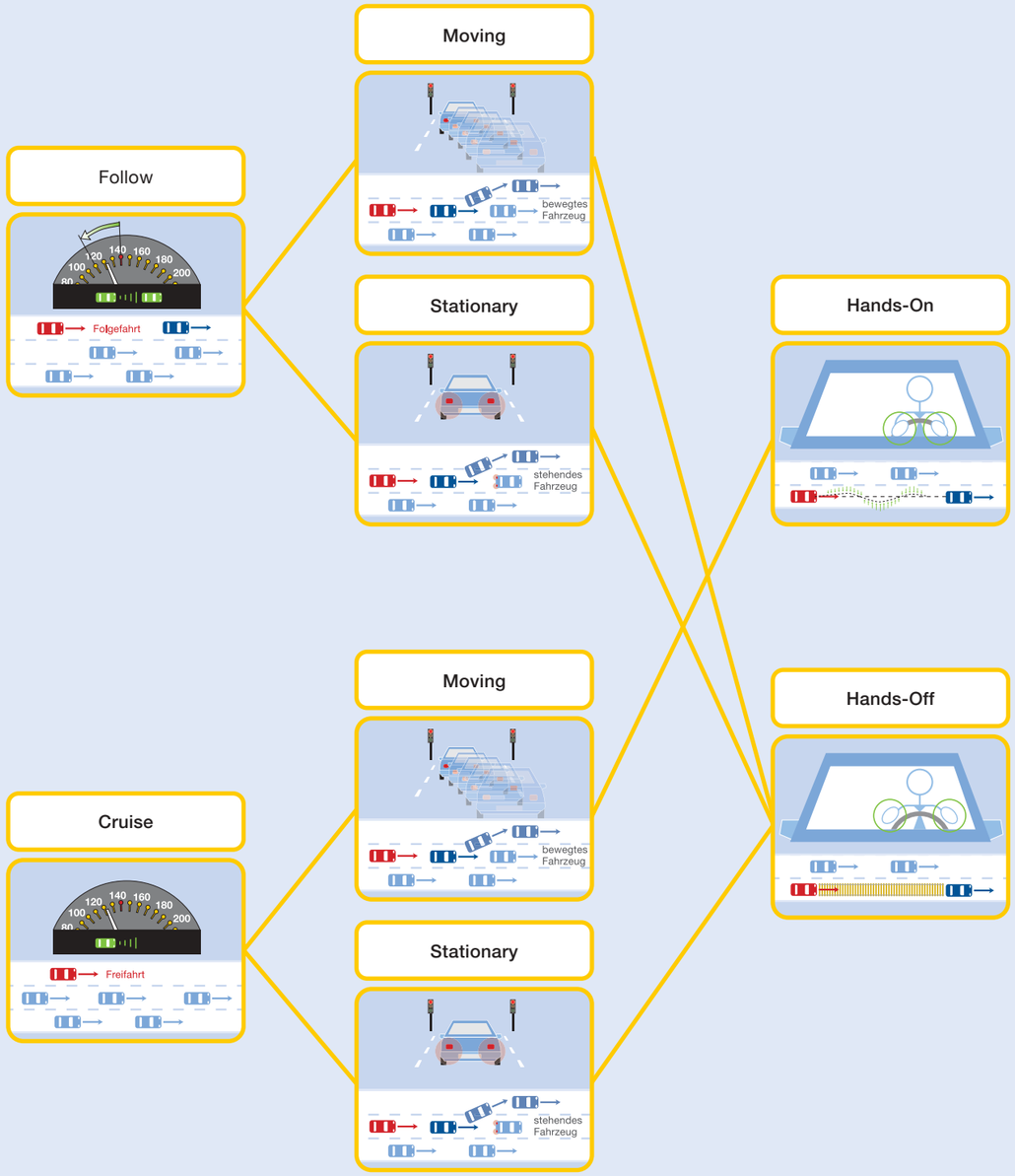


Gesamtkonzept als Basis

Alle späteren Umsetzungen in die Versuchsträger basieren auf diesem Gesamtkonzept. Das gilt auch für alle individuell erstellten Spezifikationen mit den jeweiligen firmenspezifischen Ausprägungen des Stauassistenten. Die Partner haben die Varianten nach bevorzugter Sensorik und Funktionsvorstellungen umgesetzt. Dazu arbeiteten die Partner die entsprechende Variante in Bezug auf Funktionsspezifikation, Sensorkonzept und Zustandskonzept weiter aus und setzten diese Ergebnisse in den jeweiligen Versuchsträgern um. In diesem Zusammenhang wurde auch das dazugehörige Sicherheitskonzept erarbeitet.

In der prototypischen Darstellung wurden zusätzlich zu den zunächst favorisierten Varianten alle Kombinationen in der Längsführung mit realisiert, um hier im Fahrbetrieb Vergleichsmöglichkeiten zu haben. In Bezug auf die Spurführung wurden die meisten Varianten noch mit automatischer Querführung dargestellt. Abb. 4 zeigt die realisierten und auf der Abschlusspräsentation vorgestellten Varianten.

Abb. 4: Funktionsausprägungen (Realisierte und in der Abschlusspräsentation demonstrierte Varianten)



Spezifikation der Umfeldsensorik

Auf Basis der ersten groben Funktionsspezifikation konnten die Projektpartner eine Spezifikation der Umfeldsensorik erarbeiten und dem INVENT-Teilprojekt FUE zur Verfügung stellen. Diese Spezifikation ist gleichzeitig ein Anforderungskatalog für die Umfelderfassung. Er bildet den umfassenden Rahmen, der für die einzelnen Ausprägungen entsprechend angepasst und weiter detailliert wurde.
Zusätzlich zur Spezifikation wurde ein Set von Szenarien zusammengestellt und an FUE weitergeleitet. Diese Szenarien sind für den Stauassistent von Bedeutung und können zur Evaluierung der Umfelderfassung dienen.
Der Schwerpunkt der Zusammenarbeit der INVENT-Teilprojekte FUE und STA fand bei den meisten Partnern firmenintern statt. So konnte im intensiven Austausch der Teilprojektmitarbeiter die Sensorik und Algorithmik der Umfelderfassung für die jeweilig zu realisierenden Systemausprägungen entwickelt werden.

Abb. 5: Konsistente Umfeldbeschreibung für den Stauassistenten

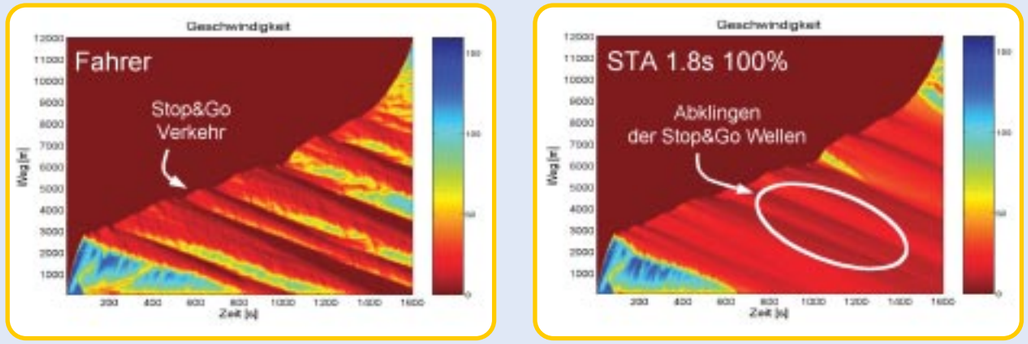
Fahrzeugregelung

Ein Hauptziel der neu entwickelten STA-Systeme sollte eine Verbesserung des Verkehrsablaufs sein. Um zu überprüfen, welche Auswirkungen die Stauassistenzsysteme nun tatsächlich auf den Verkehrsablauf haben, gab es eine enge Zusammenarbeit mit dem INVENT-Teilprojekt VRA. Die Analysen beschränkten sich dabei auf die Längsführung. Seitens STA wurde ein einfacher, konventioneller Längsregler dokumentiert und zur Verfügung gestellt, sowie die Systemgrenzen und die Interaktion zwischen Fahrer und System spezifiziert. Verschiedene Variationen der Reglerauslegung und Untersuchungsschwerpunkte wurden VRA vorgeschlagen und diskutiert.

Weniger Kraftstoff und fließender Verkehr

In Simulationen untersuchte VRA-V die Wirkung auf den Verkehr bei den unterschiedlichen Reglerparametrierungen. Die Ergebnisse zeigen, dass mit geeigneter Auslegung der Regelung und einem ausreichenden Ausrüstungsgrad sowohl der Verkehrsablauf, als auch der Kraftstoffverbrauch verbessert werden kann. Außerdem zeigte sich bei den Simulationen, dass der Verkehrsfluss unterschiedlich empfindlich auf die Variation einzelner Parameter reagiert. Das heißt, bei der Reglerentwicklung kann auf Basis dieser Erkenntnisse später ein geeigneter Kompromiss zwischen individueller Akzeptanz und Verkehrsablaufverbesserung angestrebt werden.

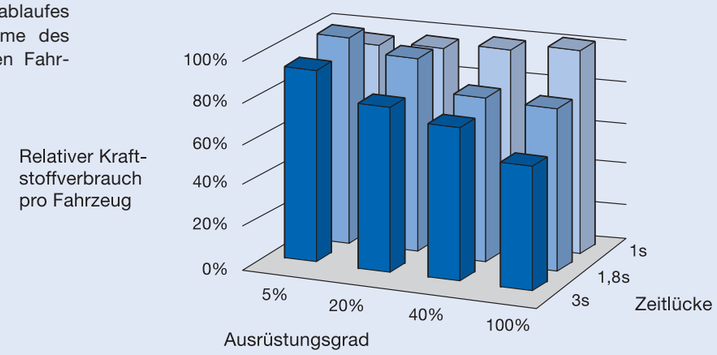
Abb. 6: Beispiel zur Auswirkung des Stauassistenten auf den Verkehrsablauf



Erläuterung: Simulation eines 12 km langen zweispurigen Autobahnabschnitts, auf dem durch zwei vorausfahrende Fahrzeuge, die nach einem realen Stau-Geschwindigkeitsverlauf fahren, ein Stau reproduziert wird. Farben markieren Geschwindigkeiten über Zeit und Weg. Der Einsatz eines Stauassistenten führt durch die Harmonisierung des individuellen Fahrerverhaltens zu einer Homogenisierung des Geschwindigkeitsniveaus. Stillstandsphasen werden in diesem Beispiel mit zunehmendem Anteil von STA-Systemen gänzlich eliminiert.

Abb. 7: Kraftstoffeinsparungen als Resultat des besseren Verkehrsablaufs

Die Homogenisierung des Verkehrsablaufes führt gleichzeitig zu einer Abnahme des Kraftstoffverbrauches des einzelnen Fahrzeuges



Neue Regelungsansätze

Meistens berücksichtigen die konventionellen Längsregelungsansätze unterschiedliche Fahrsituationen nur sehr einfach und unzureichend. Allerdings ist das gerade im unteren Geschwindigkeitsbereich besonders erforderlich. Aus diesem Grund einigten sich die Projektpartner auf Basis der neu erstellten Situationsklassifikation darauf, auch hierfür einen neuen Ansatz zu finden. Ziel war es, den Ansatz auf mehreren Versuchsträgern der Projektpartner zu implementieren und damit auch einen direkten Vergleich zu individuellen Regelungsansätzen der Partner zu ermöglichen. Dazu wurde eine einheitliche Schnittstellendefinition entwickelt und zwar einerseits zwischen Regelung und Umfelderfassung und zwischen Regelung und Fahrzeug (Antriebsstrang, Bremse und Lenkung) andererseits.

Längsregelung

Der Ansatz für die Längsregelung war, mit prädiktiven Reglern den Vorteil zu nutzen, der sich aus der Vorausschau der Umfeldsensorik und der Situationsklassifizierung ergibt. Aus dem typischen Fahrerverhalten in diesen Situationen lassen sich dann voraussichtliche Verläufe generieren und als Trajektorien vorgeben. Die Regelung wurde nach diesen Vorgaben realisiert und auf mehreren Versuchsträgern in Betrieb genommen. Allerdings ist nach aktuellem Stand kein signifikanter Vorteil gegenüber konventionellen Regelungsansätzen zu erkennen.

Querregelung

Für die Querregelung wurde ein konventioneller Regelungsansatz zur Spurhaltung umgesetzt. Dabei wird zunächst über Bildverarbeitung die aktuelle Fahrzeugposition ermittelt. Aus dieser Position relativ zur Spur sowie der Fahrbahnkrümmung und -änderung wird ein Soll-Lenkwinkel generiert, der dann über einen Lenkaktor umgesetzt wird.

Neben der gemeinsamen Beauftragung für ein neuartiges Reglerkonzept fanden bei den STA-Partnern weitere Arbeiten zur Fahrzeugregelung statt. Die Schwerpunkte der STA-Partner bei Längs- und Querführung waren dabei unterschiedlich.
Für die Längsregelung wurden zum einen vorhandene (ACC-)Regelungen adaptiert bzw. erweitert, um sie für den niedrigen Geschwindigkeitsbereich bis zum Stillstand und das Wiederanfahren nutzbar zu machen. Außerdem wurden aber auch neue regelungstechnische Ansätze für den niedrigen Geschwindigkeitsbereich mit untersucht.
Für die Querregelung evaluierten einige Partner ebenfalls verschiedene Ansätze im Versuchsträger, um im Zusammenspiel zwischen Sensorik, Regelung und Versuchsträgeraktorik die entsprechende optimale Auslegung zu finden.

Fahrer-System-Schnittstelle

Ein weiteres Ergebnis zur gemeinsamen Arbeit der STA-Partner war die Erstellung einer Human Machine Interface (HMI)-Spezifikation des Stauassistenten. Dabei wurden mögliche Bedienelemente, Systemrückmeldungen und Fahrerübersteuerungen zusammengefasst. Die Projektpartner entwickelten darauf basierend bei den individuellen Systemausprägungen ihr spezifisches HMI – auch im Kontext der sonstigen Bedienung in den verwendeten Versuchsträgern.

Abb. 8: Mensch-Maschine-Schnittstelle: Funktionsanzeigen und -bedienung

- Alle Anzeigen im Kombiinstrument integriert
- Pfeilsymbol wechselt Farbe:
  Grün = Fahrbetrieb
  Rot = Fahrzeug steht, Release erforderlich
- Fahrzeugsymbol:
  Objekt erkannt
- Vertikale Balken:
  Fahrspur erkannt
- Horizontale Balken:
  Sollabstand

- Bedienelemente am Lenkstockhebel und im Lenkrad
- Taster für Funktion Ein und Go-Release im Lenkrad bietet maximale Ergonomie
- Tasterwippe am Lenkstockhebel variiert Sollabstand

Zulassungs- und Einführungsfragen

Mit dem INVENT-Teilprojekt VRA konnten einige rechtliche Fragen diskutiert werden. Diese Fragen bezogen sich auf den allgemeinen Kontext der Fahrerassistenz, und zwar auf die Themen Zulassung, Haftung, Schadensausgleich bei Unfällen und Produkthaftung. Sie alle wurden in Bezug auf ihre Relevanz für Fahrerassistenzsysteme (FAS) diskutiert. Dabei muss man unterscheiden zwischen FAS, die stets aktiviert oder vom Fahrer unübersteuerbar aktivierbar sind, und übersteuerbaren FAS. Der Fahrer muss über die Grenzen und Leistungsfähigkeit des Systems mit klaren, gut verständlichen Informationen Bescheid wissen. Zur Verdeutlichung der Systemfunktionalität und der Interaktion des Systems mit dem Fahrer muss eine Beschreibung des Systems und der Systemgrenzen in der Betriebsanleitung erfolgen, die auch einem Laien verständlich sein muss.
Um die Zulassungsfragen für die verschiedenen STA-Varianten genauer zu beleuchten, wurde der TÜV Süddeutschland beauftragt. Die Konformität der verschiedenen STA-Varianten zu den geltenden gesetzlichen Anforderungen der StVZO, der EG-Richtlinien und ECE-Regelungen sowie der geltenden Normen wurde überprüft und diskutiert. Bei der genauen Betrachtung der untersuchten Varianten zeigte sich, dass die Varianten mit Lenkunterstützung nach dem heutigen Stand zulassungsfähig sind. Bei der Variante mit „Hands-Off“ scheint eine Zulassungsfähigkeit dagegen aufgrund der autonomen Querführung fraglich.

Darstellung des Systems im Fahrzeug

Für die Untersuchung der Realisierbarkeit eines STA-Systems wurden Erprobungsfahrzeuge gebaut. Sie sollten die Möglichkeit der Funktionsoptimierung im „Erfahren“ der Funktion und die Beurteilung der Systemperformance und -akzeptanz bieten. Die zu realisierenden technischen Konzepte und die verwendeten Hardwarekomponenten wurden dabei zwischen den Partnern diskutiert. So gab es unterschiedliche Systemausprägungen und verschiedene integrierte Sensorsysteme. Außerdem berücksichtigte jede Firma anders die Randbedingungen der Fahrzeuginfrastruktur für die Integration bereits bestehender Funktionen (ACC).

Abb. 9: Versuchsträger der STA-Partner

Abb. 9: Versuchsträger der STA-Partner

AUDI AG

MAN Nutzfahrzeuge AG

Adam Opel AG

Robert Bosch GmbH

Siemens VDO Automotive AG

Funktionserprobung

Optimierung der Systemfunktion im Fahrbetrieb, Entwicklung von Systemtests sowie die Akzeptanzuntersuchung der prototypischen Systemdarstellungen – all das testeten die Projektpartner am Ende des STA-Projekts.
Um das Grundkonzept eines Stauassistenten in seiner Wirkung zu beschreiben und im System abprüfbar zu machen, wurde für Systemtests in Anlehnung an die ISO-Normaktivitäten ein entsprechender Testkatalog definiert.
Die Endkundenakzeptanz schließlich wurde in Zusammenarbeit mit dem INVENT-Teilprojekt VRA (TÜV Rheinland) in der Endphase des Projektes untersucht.

Hier bestätigte sich das Konzept durch die bereits eingangs erwähnte positive Wahrnehmbarkeit bezüglich Unterstützung und Entlastung sowie einen subjektiven Sicherheitsgewinn.

Ausblick

Wie nicht zuletzt die Akzeptanztests gezeigt haben, hat sich der Stauassistent mit seiner kontinuierlichen Unterstützung des Fahrers bei der Längs- und Querführung als sinnvolles Assistenzsystem erwiesen. Damit stellt er einen wichtigen Schritt hin zu einer umfassenden und intelligenten Fahrerassistenz dar.

Im Laufe der Arbeiten an der Realisierung des Stauassistenten haben sich zwei Aspekte herauskristallisiert, die jedoch noch Entwicklungsfelder für die Zukunft darstellen: Der eine Aspekt betrifft die Unfallvermeidung. Obwohl der Sicherheitsaspekt nicht im alleinigen Fokus der Entwicklung stand, wird dem Stauassistenten ein klarer Einfluss auf die Fahrsicherheit zugesprochen. Der Effekt könnte noch weiter erhöht werden, indem die heutigen Begrenzungen der maximalen Verzögerung und auch des Verzögerungsaufbaus aufgehoben würden. Diese Beschränkungen resultieren aus der noch unvollständigen bzw. teilweise auch fehlerbehafteten Erfassung und Interpretation des Umfeldes. Obwohl in INVENT bereits ein weiterer Schritt bezüglich der Verbesserung der Umfelderkennung gegangen wurde, besteht bzgl. der sicheren und genauen Umfelderfassung und Situationserkennung – z.B. als Basis einer automatischen Vollbremsung in komplexen Verkehrssituationen – noch deutlicher Entwicklungsbedarf.

Zum anderen zeigte sich die kontinuierliche Querregelung – insbesondere in der Unterstützungsfunktion mit Hands-On – als sinnvolle Ergänzung im Hinblick auf eine Fahrerentlastung und damit indirekte Sicherheitssteigerung. Durch eine Ausweitung der Spurführung auf den gesamten Geschwindigkeitsbereich und eine situationsabhängige Trajektorienplanung könnten weitere Fahrfehler als potenzielle Unfallursachen bereits im Ansatz vermieden werden.

Fahrerverhalten und Mensch-Maschine-Interaktion – FVM

Projektpartner

BMW Group
DaimlerChrysler AG
Robert Bosch GmbH
Volkswagen AG

invent
intelligenter Verkehr und nutzergerechte Technik

Zusammenfassung

Aus den technologischen Lösungen der INVENT-Partner sollen nutzerfreundliche und verkehrssichere Assistenzsysteme werden. Das erfordert ein möglichst gutes Zusammenwirken zwischen Fahrer und System. Das Querschnittsprojekt Fahrerverhalten und Mensch-Maschine-Interaktion schaffte dazu die methodischen Grundlagen und erarbeitete zu drei verschiedenen Themenschwerpunkten Wissen und Methoden:

- Der Schwerpunkt **Fahrerverhaltensdaten** beinhaltete die systematische Aufbereitung des verfügbaren Wissens zum Thema Fahrerverhalten. Wo Wissenslücken waren, führten die Projektpartner Studien durch, um die offenen Fragen zu beantworten.
- Innerhalb des Schwerpunkts **selbsterklärendes Assistenzsystem** untersuchten die Partner, wie Mensch-Maschine-Schnittstellen gestaltet werden müssen, um ein intuitives Systemverständnis und leichte Erlernbarkeit zu gewährleisten.
- Der Schwerpunkt **verkehrssichere Mensch-Maschine-Interaktion** befasste sich mit der Frage, wie sich die Interaktion des Fahrers mit Assistenzsystemen und Informationssystemen auf die Verkehrssicherheit auswirkt – und wie sich diese Auswirkungen objektiv bewerten lassen.

Zur Beantwortung dieser Fragen gaben die Projektpartner gemeinsam eine Reihe von Studien an Hochschulen und Forschungsinstituten in Auftrag. Die Inhalte wurden eng mit den anderen INVENT-Projekten abgestimmt und die untersuchten Beispielsysteme beruhten auf den Spezifikationen und Prototypen aus diesen Applikationsprojekten. So unterstützte FVM zum einen direkt die Gestaltung der Fahrer-System-Schnittstellen in INVENT, zum anderen können die erarbeiteten allgemeinen Methoden auch für künftige Systeme eingesetzt werden.

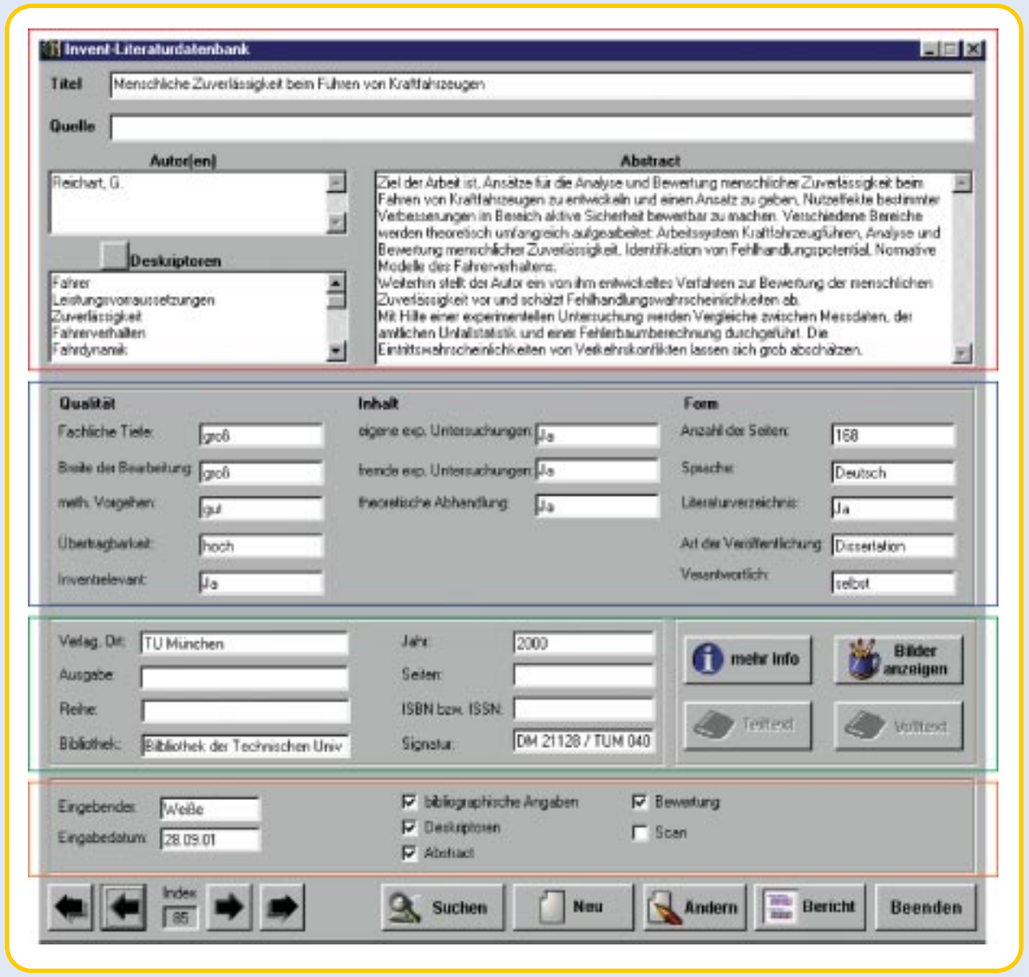
Darüber hinaus erarbeiteten die Projektpartner eigene Gestaltungsbeispiele für selbsterklärende und verkehrssichere Mensch-Maschine-Schnittstellen. Dies schloss auch Ansätze zur Verbesserung heutiger Fahrer-System-Schnittstellen mit ein.

Ergebnisse

Literaturrecherche, Strukturierung und Bewertung

Ziel der Literaturrecherche, Strukturierung und Bewertung war es, relevante Literaturstellen zum Fahrerverhalten und zu Fahrerleistungsdaten systematisch aufzubereiten und den Stand der aktuellen Forschung zu dokumentieren. In einer Datenbank stehen die Ergebnisse der Literaturanalyse und die darauf aufbauende Bewertung jetzt zur Verfügung. Das gegenwärtige Wissen zu Fahrerleistungsdaten ist auch in einem Handbuch zusammengestellt. Für den Unterauftrag verantwortlich war Prof. Landau am Institut für Arbeitswissenschaft (IAD) der TU Darmstadt.

Abb. 1: Suchmaske der Literaturdatenbank



Die in FVM erstellte Literaturdatenbank basiert auf Microsoft Access und umfasst über 1000 Literaturstellen mit einem Schwerpunkt auf der Zeit nach 1990. Aufbauend auf einem Deskriptorenbaum zur Strukturierung wurde die Literatur hinsichtlich verschiedener Kriterien – etwa fachliche Tiefe, Breite der Bearbeitung oder Übertragbarkeit – bewertet. Die Datenbank beinhaltet außerdem jeweils eine kurze Zusammenfassung der Literaturstelle. Suchfunktionen über Autoren, Deskriptoren und andere Kriterien ermöglichen das Erstellen von Literaturverzeichnissen zu ausgewählten Themengebieten.

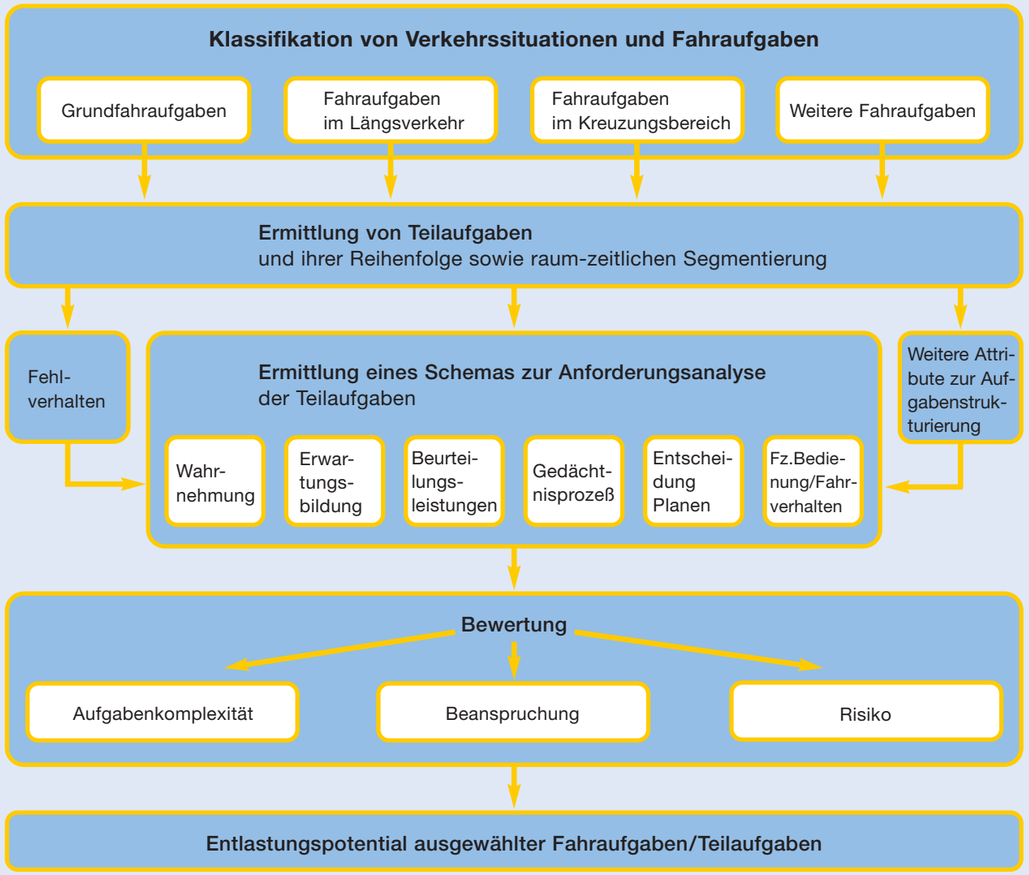
Fahraufgabenklassifikation

Um den Bedarf und die Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme aus Fahrersicht zu verstehen, sind genaue Kenntnisse sowohl über das Fahrerverhalten in unterschiedlichen Verkehrssituationen als auch über die Interaktion von Fahrer, Fahrzeug, Umfeld und Assistenzsystemen an den Schnittstellen notwendig. Zur Ermittlung des „Sollverhaltens“ eines idealen Fahrers beauftragten die Partner deshalb beim Institut Mensch-Verkehr-Umwelt (mvu) in München eine gezielte Analyse und Klassifikation unterschiedlicher Fahraufgaben. Die Analysen konzentrierten sich dabei auf für die INVENT-Applikationen relevante Fahrsituationen mit offenem Wissensbedarf. Sie wurden an drei Fahrszenarien an Kreuzungen und zwölf Fahraufgaben beim Spurwechsel (bei einer Autobahnfahrt mit Kolonnenverkehr) durchgeführt (siehe Abb. 2).

In den Verkehrswissenschaften gibt es bislang keine Standardverfahren, die eine Anforderungsanalyse für Fahraufgaben erlauben. Das hier entwickelte Verfahren beruht auf einer arbeitspsychologischen Modellvorstellung zur Informationsverarbeitung während des Autofahrens. Im ersten Analyseschritt wird eine ausgewählte Fahraufgabe, etwa Linksabbiegen an einer ampelgeregelten Kreuzung, in einzelne zeitlich strukturierte Teilaufgaben zerlegt. Für jede Teilaufgabe erfolgt die eigentliche Anforderungsanalyse, die nach Wahrnehmung, Erwartungsbildung, Beurteilung, Gedächtnisprozessen, Entscheidung/Planung sowie Fahrzeugbedienung in jeweils bis zu acht Unterkategorien gegliedert ist. Daneben werden die für jede Teilaufgabe typischen Fehler aufgelistet. Die Bewertung hinsichtlich Komplexität der Aufgabe, Beanspruchung des Fahrers und Risiken ermöglicht anschließend eine Beurteilung dazu, welches Entlastungspotenzial Fahrerassistenzsysteme haben können.

In Ergänzung zu der theoretischen Klassifikation führten die Projektpartner zusammen mit Fahrschullehrerausbildern Fahrversuche zur Ermittlung des Normverhaltens durch. Das Versuchsfahrzeug war mit Messtechnik und einer Videoerfassungsanlage ausgestattet, so dass fahrdynamische Größen und Videodaten zeitsynchron vorlagen. Die Versuche erhärteten die Ergebnisse der theoretischen Fahraufgabenklassifikation und halfen, die Fahrabschnitte mit der höchsten Aufgabendichte für den Fahrer zu definieren. Es zeigte sich: Die in FVM erarbeitete Methode ist ein universell einsetzbares, aber sehr sensibles Verfahren zur Fahraufgabenklassifikation, das plausible Ergebnisse liefert.

Abb. 2: Struktur der Fahraufgabenklassifikation



Experimentalstudien zum Fahrerverhalten an Kreuzungen

Ein Forschungsgebiet, das die FVM-Partner vertieft untersuchten, war das Fahrerverhalten an Kreuzungen. Grund war, dass die INVENT-Projekte erstmals praktische Applikationen zur Unterstützung des Fahrers an Kreuzungen entwickelten und die gegenwärtige Literatur dazu zahlreiche Fragen offen ließ. Drei sich inhaltlich ergänzende Vorhaben gaben die Projektpartner gemeinsam in Auftrag:

- **DLR, Institut für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung, Braunschweig (Prof. Lemmer):** Untersuchung des Fahrerverhaltens bei Kreuzungsfahrten gestützt durch mobile und stationäre Verkehrserfassung
- **Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften (WIVW, Prof. Krüger):** Erstellung eines Konflikt- und Aufmerksamkeitsmodells für Kreuzungsfahrten
- **mvu München (Dr. Fastenmeier):** Abgleich des Ist-Fahrerverhaltens an Kreuzungen mit dem Soll-Fahrerverhalten

Untersuchung des Fahrerverhaltens gestützt durch mobile/ stationäre Verkehrserfassung

Ziel der Arbeiten des DLR war es, das Verhalten von Fahrern an Kreuzungen unter drei Aspekten zu beschreiben:

- Wie wird die Aufgabe „Durchfahren einer Kreuzung“ typischerweise bewältigt?
- Unter welchen Umständen entstehen für den Fahrer Belastungen?
- Wie entstehen kritische Situationen?

Während umfangreicher Kreuzungsfahrten im Realverkehr in Berlin und Braunschweig wurde eine Reihe von Messgrößen in einem ausgerüsteten Versuchsfahrzeug erfasst:

- Fahrerverhalten einschließlich Blickrichtung
- Verkehrsfluss an der Kreuzung (Fahrzeugbewegungen beteiligter Verkehrsteilnehmer)
- Bauliche und verkehrliche Merkmale der Kreuzung

Mit Hilfe dieser Daten ließ sich bestimmen, von welchen Faktoren – statischen und dynamischen Kreuzungsmerkmalen – die Schwierigkeit einer Kreuzungsüberfahrt abhängt. Die Erkenntnis: Einflussfaktoren wie die Beschilderung oder Sichtbehinderungen überlagern sich praktisch linear und die Ergebnisse der statistischen Faktorenanalyse sind weitgehend stabil, so dass sich die Schwierigkeit einer Kreuzungsüberfahrt gut vorhersagen lässt.

Erstellung eines Konflikt- und Aufmerksamkeitsmodells

Aufgabe des Projektteils, der vom WIVW (Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften) bearbeitet wurde, war die Entwicklung von Modellen für potenzielle Verkehrskonflikte an Kreuzungen (objektive Komponente), für die Aufmerksamkeitsverteilung von Fahrern in Kreuzungssituationen (subjektive Komponente) sowie deren Integration in ein Warnkonzept eines Assistenzsystems.

Die erarbeitete Literaturdatenbank, ergänzt mit weiteren Literaturrecherchen, diente dabei als Basis für eine Übersicht über zeitbasierte Faktoren, die Geschwindigkeitswahl und Entscheidungsverhalten in Kreuzungssituationen bestimmen. Das WIVW untersuchte im Simulator unter verschiedenen Bedingungen, wie gut Autofahrer die Zeit abschätzen können, die andere Fahrzeuge bis zum Eintreffen an der Kreuzung oder einer etwaigen Kollision benötigen. Dabei durchleuchteten die Forscher insbesondere so genannte Maskierungseffekte zwischen direkt beobachteten und im Gedächtnis gespeicherten Fremdfahrzeugen und formulierten Hypothesen für kritische Wahrnehmungsprobleme.

In einem weiteren Arbeitsschritt wurde das Blickverhalten des Fahrers beim Überqueren von Kreuzungen über ein Blickregistriergerät untersucht – per Videodetektion des Cornealreflexes und der Pupille mit einer Infrarotkamera, verbunden mit einer Szenenkamera. Ein „Aufmerksamkeitsmodell“ sollte eine Prognose der vom Fahrer voraussichtlich wahrgenommenen und nicht wahrgenommenen Gefahren ermöglichen.

Denn mit einer solchen Prognose könnte ein Assistenzsystem selektiv nur vor den nicht wahrgenommenen Gefahren warnen und die Zahl „unnötiger“ Warnungen reduzieren.

Die Untersuchungen zeigten jedoch, dass dies noch schwierig ist: Dieselben Fahrer zeigen in den gleichen oder vergleichbaren Situationen oft ein unterschiedliches Blickverhalten. Ferner kann aus einer messtechnisch erfassten Blickposition nicht ohne weiteres gefolgert werden, dass das dortige Objekt tatsächlich wahrgenommen wurde – das „Looked but failed to see“- Phänomen.

Abgleich des Ist-Fahrerverhaltens mit dem Soll-Fahrerverhalten

Das mvu führte einen Abgleich des beobachteten Ist-Fahrerverhaltens an Kreuzungen mit dem Soll-Verhalten durch. Dabei kam ebenfalls das mit Kameras bestückte Versuchsfahrzeug zum Einsatz. Bei den Untersuchungen im Stadtgebiet München mit 60 Personen in zwei Altersgruppen stimmten die beobachteten Fahrfehler gut mit den in der Fahraufgabenanalyse identifizierten kritischen Belastungen überein: Meist handelte es sich bei den Fehlern um mangelhaftes Absichern gegenüber anderen Fahrzeugen. Die Gruppe der älteren Fahrer machte dabei deutlich mehr Sicherungsfehler als die anderen Versuchspersonen. Das entspricht dem aus der allgemeinen Unfallstatistik bekannten höheren Anteil älterer Autofahrer an Kreuzungsunfällen.

Selbsterklärende Fahrerassistenzsysteme

Der Umgang mit einem neuen Fahrerassistenzsystem stellt eine Reihe von Anforderungen an den Fahrer. Er muss eine Vorstellung vom Verhalten des Systems entwickeln und wissen, wie es aktiviert wird. Er muss lernen, mit dem System zusammenzuarbeiten sowie bei Übernahmeaufforderungen oder Systemausfällen richtig und prompt zu reagieren.

Die FVM-Projektpartner suchten daher einen Weg zur Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen, deren Funktionsweise, Bedienung und Systemgrenzen für den Nutzer intuitiv sind und die möglichst ohne Bedienungsanleitung auskommen. Dazu wurden in zwei gemeinsamen Aufträgen der Projektpartner an das Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften (WIVW) methodische Grundlagen dazu erarbeitet, wie Nutzer das System erlernen und wie sich der Lernfortschritt messen lässt.

Modell des Lernverhaltens

Das Modell des Lernverhaltens bei der Nutzung von Assistenzsystemen sollte ursprünglich folgende Aspekte berücksichtigen:

- Definition von Lernstufen
- Charakteristika des beobachtbaren Verhaltens in jeder Lernstufe
- Abfragbare oder anderweitig ermittelbare innere Vorgänge beim Nutzer
- Definition von Systemverständnis vor dem Hintergrund des Lernmodells
- Experimentelle Validierbarkeit

Bereits in einer frühen Projektphase zeigte sich, dass ein systemunabhängiges Modell nicht zum Ziel führt. Deshalb erarbeiteten die Forscher zunächst theoretische Grundlagen zum Lernen und konkretisierten sie an Hand experimenteller Untersuchungen mit Beispielsystemen. Dabei berücksichtigten sie sowohl handlungsersetzende Systeme – wie der Stauassistent, der Längs- und Querführung zumindest zeitweise vom Fahrer übernimmt – als auch handlungsbegleitende Systeme wie der Spurwechselassistent, der den Fahrer im Falle eines drohenden Konflikts mit dem nachfolgenden Verkehr informiert oder warnt.

Proband	Sitzung 1	Sitzung 2	Gesamt	Bedientyp
02	0.00	0.00	0.00	Tasten
03	0.04	0.00	0.02	Tasten
04	0.04	0.08	0.06	Tasten
05	0.12	0.62	0.37	gemischt
06	0.04	0.03	0.03	Tasten
07	0.57	0.52	0.55	gemischt
08	0.00	0.00	0.00	Tasten
09	0.91	0.91	0.91	Sprache
10	0.65	0.84	0.74	Sprache
11	0.00	0.00	0.00	Tasten
Mittelwert	**0.24**	**0.30**	**0.27**	

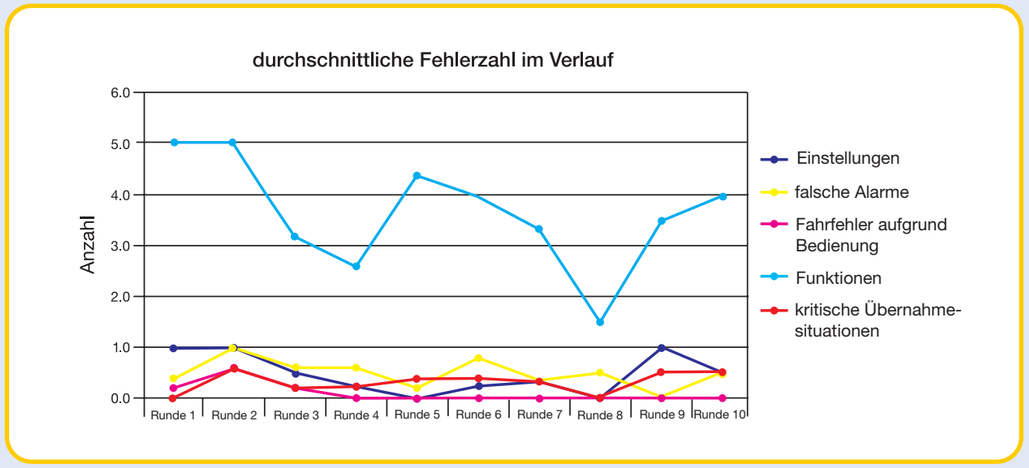
Zeitanteile mit Sprachbedienung

Abb. 3: Individuelle Nutzung bei mehreren Bedienmöglichkeiten (Tasten oder Sprache)

Abb. 4: Fahrsimulator des WIVW zur Durchführung der Experimente und Bedienelemente des Stauassistenten

Beide Systeme wurden im Simulator des WIVW implementiert und experimentell mit Testfahrern untersucht. Während der Versuche auftretende Fehler wurden klassifiziert nach Bedienfehlern, Fehlern durch Systemverständnis, Fahrfehlern und anderen Fehlern und hinsichtlich des Lernfortschritts bei mehrfacher Versuchswiederholung analysiert. Die Ergebnisse bildeten unter anderem eine wichtige Grundlage für die Gestaltung der Schnittstellen im Projekt STA.

Abb. 5: Beispiel zur Entwicklung der Fehler beim Umgang mit einer STA-Variante



Minimierung des Lernaufwands

Das Erlernen von Fahrerassistenzsystemen findet in drei Phasen statt:

– In der **ersten Lernphase** beschäftigen sich die Fahrer mit der allgemeinen Bedienung des Systems. Diese Phase ist besonders kritisch: Neben vielen Bedienfehlern treten auch Fahrfehler auf, weil das Fahren selbst vernachlässigt wird. Insgesamt werden die Fahrten dieser Phase als anstrengender beurteilt als das Fahren ohne ein System.

– In der **zweiten Phase** geht es darum, Vertrauen zu gewinnen und die kinästhetischen Eigenschaften des Systems kennen zu lernen. In dieser Phase geht bei einigen Fahrern die Anzahl der „falschen Alarme“ zurück. Sie können besser abschätzen, welche Differenzgeschwindigkeiten das System übernehmen kann. Dies trifft aber nicht auf alle Fahrer zu. Typabhängig gibt es Fahrer, die solchen Technologien grundsätzlich nicht vertrauen und bei den geringsten Anzeichen einer neuen Situation selbst übernehmen.

– Schließlich lässt in der **dritten Lernphase** die aktive Beschäftigung mit dem System nach. Der Fahrer baut die Möglichkeiten, die das System bietet, in den eigenen Fahrstil mit ein. Fehler im Umgang mit der Technik werden nicht mehr so kritisch hinterfragt oder dem System als „Fehlfunktion“ zugeschrieben. Die Beurteilung des Systems wird positiver.

Um bereits bei der Auslegung eines neuen Fahrerassistenzsystems den späteren Lernaufwand für alle Lernphasen zu minimieren, wurde ein neues Verfahren erarbeitet, welches Lernhindernisse durch eine formale Überprüfung technischer Zustandsdiagramme schon während der technischen Systementwicklung aufspüren kann.

Gestaltungsbeispiele für lernfördernde Maßnahmen

Die Ergebnisse und Erkenntnisse aller Arbeiten zum Themenschwerpunkt „selbsterklärendes Fahrerassistenzsystem“ werden derzeit zusammengeführt und in Form der angestrebten übergreifenden Gestaltungsrichtlinie strukturiert.

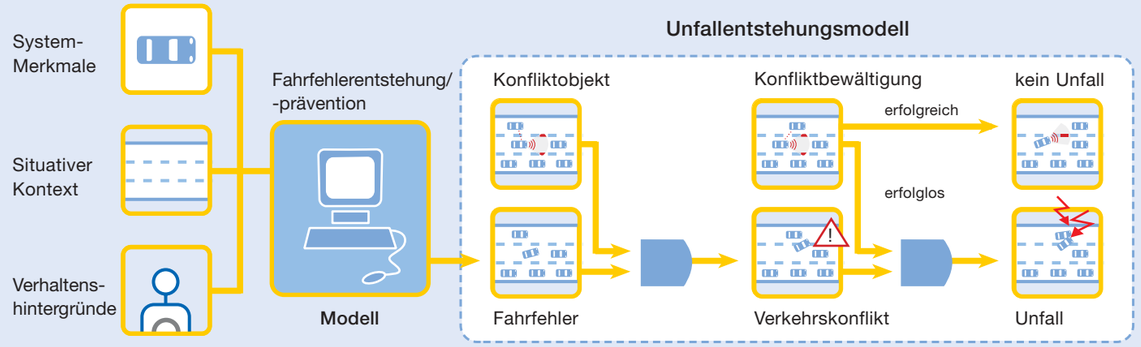
Die verkehrssichere Mensch-Maschine-Interaktion bewerten

Neben Gestaltungsempfehlungen wurde im Teilprojekt FVM auch ein objektives Bewertungsverfahren für die Verkehrssicherheit von Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssystemen entwickelt. Die standardisierte Bewertungsmethode lässt sich im Fahrsimulator genauso wie im Feldversuch anwenden und erfasst Verhaltensänderungen während der gesamten Nutzungsphase.

Das Bewertungsverfahren entstand im gemeinsamen Auftrag der Projektpartner beim Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme (IVI) in Dresden in Kooperation mit dem Institut für Verkehrspsychologie der TU Dresden (Prof. Schlag).

Bei der Entwicklung gingen die Experten davon aus, dass Fahrfehler eine relevante Größe zur Beschreibung der Verkehrssicherheit darstellen, und untersuchten, wie sich Fahrerassistenz- und Informationssysteme auf die Entstehung oder Vermeidung von Fehlern auswirken (siehe Abb.6).

Abb. 6: Allgemeines Unfallentstehungsmodell



Anhand konkreter Situationen analysierten die Verkehrsexperten, wie Systemmerkmale, situative Randbedingungen, kognitive Belastung und verkehrspsychologische Hintergründe bei der Entstehung von Fahrfehlern zusammenwirken. Zur formalen Beschreibung dienten „Fahrfehlerbäume“ (siehe Abb.7).

Das theoretische Modell wurde zunächst im Fahrsimulator und im realen Verkehr unter Aufzeichnung relevanter Messdaten mit Fahrlehrern überprüft. Aus dem Vergleich der subjektiven Aussagen der Fahrlehrer mit objektiven Daten entstand eine Datenbasis zur Definition von Fahrfehlern (siehe Abb. 8).

Abb. 7: Beispiel eines „Fahrfehlerbaums“ für einen Spurhaltekonflikt in einer Kurve bedingt durch den Fahrfehler „zu hohe Geschwindigkeit“, welcher durch die nicht angepasste Einstellung eines (ACC-) Tempomaten verursacht sein kann.

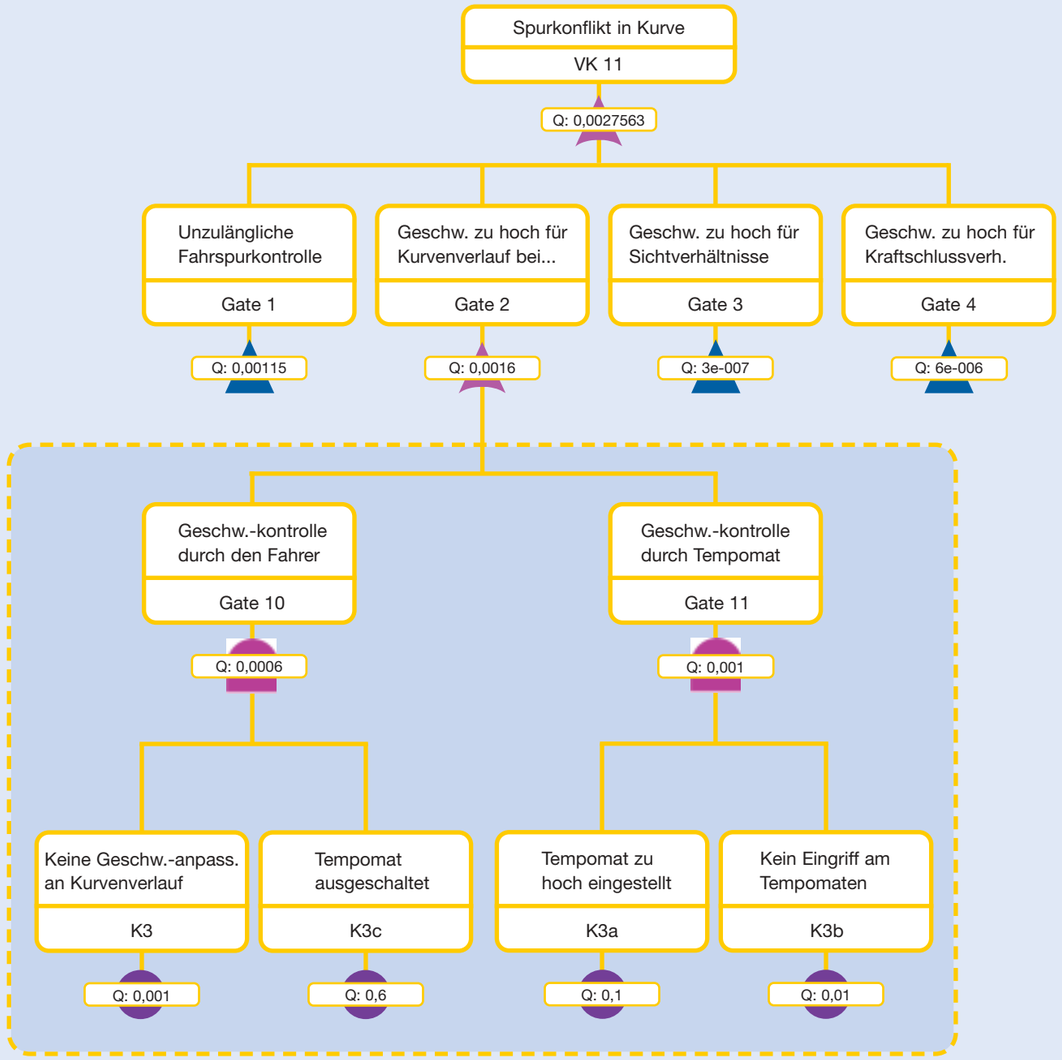


Abb. 8: Beispielhafter Ausschnitt aus einer Beobachtungsfahrt mit Fahrlehrern

Ein zweiter gemeinsamer Auftrag der Projektpartner an eine unabhängige Forschergruppe der Universität Tübingen, Psychologisches Institut (Prof. Glaser) und der Firma MTO galt der Validierung und Weiterentwicklung des Bewertungsverfahrens. Zum einen führten die Forscher mit insgesamt 60 Versuchspersonen einen Versuch im DaimlerChrysler-Fahrsimulator in Berlin durch (siehe Abb. 9). In einem zweiten Fahrversuch mit Fahrerinformationssystemen und Fahrerassistenzsystemen fuhren ebenfalls 60 Probanden in einem ausgerüsteten Testfahrzeug mit ACC System und Blickerfassungskamera (siehe Abb. 10).

Abb. 9: Beispielhafter Ausschnitt aus dem Simulatorversuch

Live-Beobachtung von Versuchsstrecke und Versuchsperson, deren Dateneingabe im FIS sowie der Tachometeranzeige

Abb. 10: Beispielhafter Ausschnitt aus einer Versuchsfahrt im Straßenversuch

Die beiden Versuche wurden ausgewertet und das Bewertungsverfahren anhand der dabei gewonnenen Erkenntnisse überarbeitet und weiterentwickelt.

Die Ergebnisse beider Aufträge (Fraunhofer IVI / TU Dresden und Universität Tübingen/ MTO) wurden von den Projektpartnern in Gestaltungsempfehlungen für verkehrssichere Fahrerinformationssysteme und Fahrerassistenzsysteme überführt. In diese Empfehlungen flossen außerdem die Ergebnisse des Teilprojekts VRA mit ein.

Gestaltungsunterstützung für die Applikationsprojekte

Ziel dieses eigenen Arbeitspakets innerhalb FVM war es, die INVENT-Applikationsprojekte gezielt bei der Entwicklung ihrer Fahrerassistenz- und Informationssysteme zu unterstützen, so dass diese verständlich sind und sicher vom Autofahrer bedient werden können. Die Arbeit orientierte sich an den Bedürfnissen der Applikationsprojekte, der Wissenstransfer fand in gemeinsamen Workshops statt. Besonders intensive Kontakte gab es zu den Applikationsprojekten STA und VAS (Kreuzungsassistenz) mit speziellen Fahrversuchen, Fragelisten zur Mensch-Maschine-Interaktion und Gestaltungsempfehlungen.

Parallel erhielten alle INVENT-Partner Zugang zu einer recherchierbaren und ausbaufähigen Literaturdatenbank, ein Benutzerhandbuch (Anleitung zur Nutzung der Literaturdatenbank) und ein Handbuch zu Fahrerleistungsdaten. Diese Informationsquellen konnten nicht nur in den einzelnen INVENT-Teilprojekten genutzt werden, sondern stehen auch für zukünftige Projekte und anwendungsspezifische Recherchen zur Verfügung.

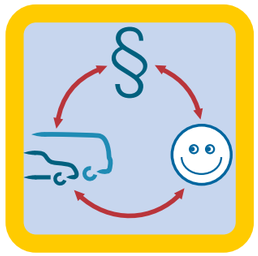
Ausblick

Ein ursprünglich geplantes Unterarbeitspaket „Langzeitbewertung der Verkehrssicherheit“ konnten die Projektpartner nicht durchführen. Zum einen standen aus den Applikationsprojekten noch keine Versuchsträger mit einem ausreichend stabilen Entwicklungsstand zur Verfügung. Zum anderen erfordert eine aussagekräftige Langzeitbewertung eine Kontrolle der Lernprozesse sowie der Verhaltensadaption im Mensch-Maschine-System. Die notwendigen Verfahren dazu entstanden jedoch erst im Projekt FVM. Und eine Langzeitbewertung neuer, als Entwicklungsprototypen realisierter Fahrerassistenzsysteme erfordert einen erheblichen Zeitaufwand.

Dieses Aufwandsproblem ist auch in künftigen Forschungsprojekten nicht einfach zu lösen. Es wird deshalb schwierig sein, eine belastbare quantitative Prognose über die Netto-Auswirkungen einer spezifischen Systemauslegung auf die Verkehrssicherheit zu stellen. Die FVM-Verfahren zur systematischen Bestimmung des Lernfortschritts und zur Identifikation von Lernhindernissen, zur Kontrolle des Systemverständnisses sowie zur Messung von Systemauswirkungen auf die Verkehrssicherheit werden jedoch entscheidend zu einer qualitativen Optimierung des Verkehrssicherheitspotentials von Fahrerassistenzsystemen beitragen.

Schließlich hat sich in allen Untersuchungen dieses Teilprojekts gezeigt, dass die Aufmerksamkeit des Fahrers eine herausragende Rolle für nutzergerechte Assistenzsysteme spielt. Aufmerksame Fahrer machen nur sehr wenig gravierende Fahrfehler. Die weitere Untersuchung, Kontrolle und Optimierung der Fahreraufmerksamkeit sollte deshalb ein wesentlicher Gegenstand künftiger Forschungsprojekte zum Thema Fahrerverhalten sein.

Verkehrliche Wirkung, Rechtsfragen und Akzeptanz – VRA



Projektpartner

BMW Group
DaimlerChrysler AG
Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen (fka)
PTV Planung Transport Verkehr AG
TÜV Kraftfahrt GmbH
Universität zu Köln
Vogt & Kollegen Rechtsanwälte
Volkswagen AG

invent
intelligenter Verkehr und nutzergerechte Technik

Zusammenfassung

Das Teilprojekt „Verkehrliche Wirkung, Rechtsfragen und Akzeptanz” (VRA) sah sich im Rahmen von INVENT in erster Linie als Dienstleister für die Applikationsprojekte „Stauassistent“ (STA) und „Vorausschauende, Aktive Sicherheit“ (VAS). Ziel war die Bewertung der Fahrerassistenzsysteme, die in den beiden Applikationsprojekten entstanden.

Die Projektpartner untersuchten zum Beispiel die Auswirkungen, die Fahrerassistenzsysteme auf den Fahrer und den Verkehr haben, sowie die Kundenakzeptanz und Gebrauchssicherheit. Dabei hinterfragten sie auch die Sicherheitsaspekte im Zusammenhang mit den rechtlichen Rahmenbedingungen. Über Kosten/Nutzen-Analysen wurden die Systeme ökonomisch bewertet. Dazu mussten auch neue Methoden und Bewertungsverfahren entwickelt werden.

Verkehrssimulation

§ Rechtsfragen

Marktpotenzial

€ Kosten/Nutzen Analyse

Ergebnisse

Durch die Assistenzsysteme entsteht eine neue Dimension des Autofahrens. Wird diese Assistenz überhaupt gewünscht, und wie ändert sich durch sie möglicherweise die Fahrweise? Um kostspielige Fehlentwicklungen zu vermeiden, ist es erforderlich, bei der Entwicklung von neuen Fahrerassistenzsystemen möglichst früh deren verkehrliche Wirkung, ihre Akzeptanz beim Kunden und gegebenenfalls sogar ihre betriebs- und volkswirtschaftlichen Auswirkungen zu untersuchen. Auch potenzielle verkehrs-, zulassungs- und haftungsrechtliche Probleme müssen frühzeitig identifiziert werden, insbesondere dann, wenn es sich um Systeme handelt, die bestimmte Fahrfunktionen teilweise oder ganz vom Fahrer übernehmen.

Verkehrssimulation

Verkehrliche Wirkungen

Um die verkehrlichen Wirkungen von Fahrerassistenzsystemen untersuchen zu können, müssen die angedachten Assistenzsysteme als Modelle vorliegen. Diese werden in Simulationen mit Verkehrsszenarien gekoppelt. Bei den einzelnen Projektpartnern waren bereits unterschiedliche Modelle im Einsatz, die im Rahmen von VRA zu einer integrierten Analyse-Plattform weiterentwickelt wurden. Diese Analyse-Plattform, bestehend aus einem Szenariengenerator, einer Schnittstelle zu Assistenzsystemen und einem Verkehrsmonitor zur Beobachtung der verkehrlichen Wirkungen, erlaubt eine umfassende Analyse der Wirkungen von Fahrerassistenzsystemen.

Für das Teilprojekt STA untersuchten die Projektpartner das Reglerverhalten des Stauassistenten beim Annähern an ein Stauende, während der Fahrt im Stau und bei der Stauausfahrt. In jeder dieser drei Situationen gibt es unterschiedliche Anforderungen:

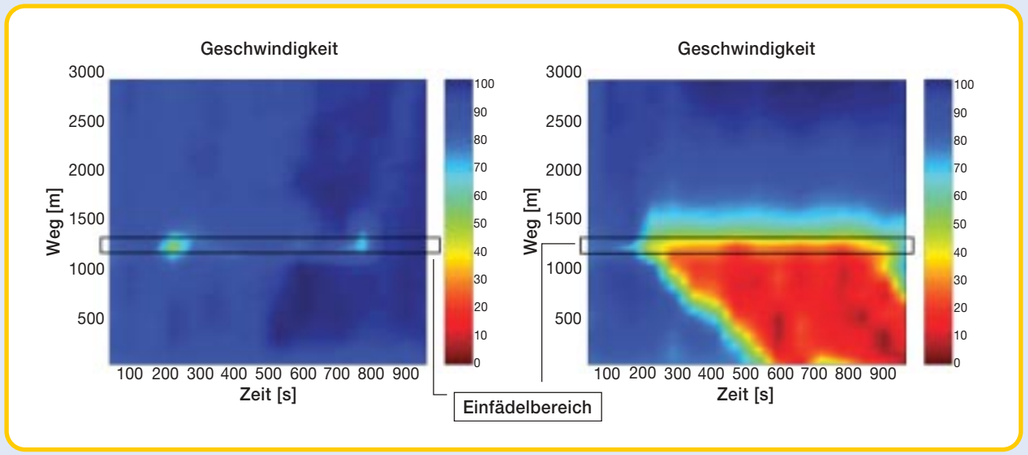
- Beim Annähern an ein Stauende soll unüblich starkes Bremsen vermieden werden. Aus Akzeptanzgründen ist aber auch ein zu zögerliches „Heranschleichen“ zu vermeiden. Der von STA vorgeschlagene Regler wurde nach ersten Simulationsläufen entsprechend adaptiert.
- Beim Fahren innerhalb eines Staus wurde ein für den Fahrer angenehmer Geschwindigkeitsverlauf gesucht, der unnötige Beschleunigungen und Verzögerungen, sowie unüblich große Abstände vermeidet. Darüber hinaus wurde eine geeignete obere Geschwindigkeitsgrenze des Systems bestimmt, um ein häufiges Aus- und Wiederanschalten zu vermeiden. Dazu wurde der Verkehrsablauf hinter einer gemessenen, realen Staufahrt simuliert.
- Bei der Ausfahrt aus einem Stau soll das Reglerverhalten zu einem zügigen Abfluss führen. Hier wurden verschiedene Parametervarianten hinsichtlich der Abflussrate überprüft.

Für das Teilprojekt VAS wurden Untersuchungen zum Querführungsassistenten durchgeführt. Hierbei lag der Fokus auf den Randbedingungen, unter denen das Assistenzsystem arbeiten muss. Hier führten die Projektpartner Untersuchungen zu den Sichtweiten auf Autobahnen sowie zu Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen Fahrstreifen durch. Die Häufigkeitsverteilungen der Sichtweiten und Kurvenradien am Beispiel der A61 zwischen Gelsenkirchen und Ludwigshafen zeigten, dass Radien kleiner als 600 Meter nur auf einem Prozent der Strecke auftreten, meist in Autobahn-Übergängen. Die Sichtweiten gehen im Mittelgebirgsbereich (Hunsrück) bis auf ca. 200 Meter zurück. Für die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen den Fahrstreifen einer Autobahn ergab sich eine Häufung bei Werten von ca. 40 km/h; die Maximalwerte waren jedoch erheblich höher. Aus den beobachteten Sichtweiten und Geschwindigkeitsdifferenzen ließen sich die Anforderungen an die Sensorik einer Spurwechselabsicherung ableiten.

Zusätzlich wurden Simulationen zur Auswirkung von Einfädelvorgängen durchgeführt. Wegen der in der Regel unterschiedlichen Geschwindigkeiten kommt es zu verschiedenen Auswirkungen, je nachdem ob ein Pkw oder Lkw einfädelt.
Die folgenden Abbildungen zeigen die Geschwindigkeiten aus den Simulationen, dargestellt über Weg und Zeit. Die erste Abbildung für einen Pkw-Einfädelvorgang zeigt, dass dieser ohne verkehrliche Störungen abläuft. Die zweite Abbildung lässt die durch vermehrte Lkw-Einfädelvorgänge hervorgerufenen Verkehrsstörungen unschwer erkennen.

Weiterhin wurden wichtige Fragestellungen aus dem TP VAS beantwortet, beispielsweise die Störungsfortpflanzung bei Spurwechselvorgängen bei Variierung der zugemuteten Zeitlücken bzw. Verzögerungen.

Abb 1: Geschwindigkeitsverlauf bei Pkw-Zufluss (links) und Lkw-Zufluss (rechts)



Marktpotenzial

Akzeptanz und Mensch-Maschine-Interaktion

Verkehrssimulationen werden dazu genutzt, Assistenzsysteme optimal auszulegen. Diese Auslegung darf aber ihrerseits nicht ohne die Rückkopplung entsprechender Akzeptanzuntersuchungen erfolgen. Denn was nach rein verkehrlichen Kriterien sinnvoll ist, ist nicht immer auch die bevorzugte Fahrweise des Autofahrers. Die hohen Investitionskosten bei der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen amortisieren sich nur dann, wenn diese Systeme später auf eine breite Akzeptanz und Nachfrage am Markt stoßen und rasch eine hohe Marktdurchdringung erreichen. Der Endverbraucher – der Fahrer – sollte daher schon so früh wie möglich in den Entwicklungsprozess eingebunden werden („nutzerzentrierte Innovation“). Dies beginnt bei der Konzeptentwicklung und erstreckt sich bis hin zur Dokumentation von Verbrauchererfahrungen in der Vermarktungsphase.

Methoden – Frühe und effiziente Einbindung potenzieller Kunden

Im Rahmen von VRA wurden zunächst gängige Methoden der qualitativen und quantitativen Marktforschung sowie der Ergonomie gesichtet und auf ihre Anwendbarkeit für den Bereich Fahrerassistenz hin bewertet. Auf dieser Basis wurden geeignete Methoden und Ansätze weiter entwickelt und entsprechend der besonderen Anforderungen von Fahrerassistenzsystemen modifiziert. Das Methodenspektrum umfasste schließlich Gruppendiskussionen (Fokusgruppen), Multimediabefragungen, Fahrversuche (Car Clinics) und Onlinebefragungen.

Ziel war es, mit Hilfe dieser Methoden die Kundenbedürfnisse und Nutzerakzeptanz innovativer Fahrerassistenzsysteme zu untersuchen und Handlungsempfehlungen für die Systemauslegung und die Ausgestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle abzuleiten. Dafür wurden neben der Nutzerakzeptanz auch Aspekte der Gebrauchssicherheit erörtert. Die so gewonnenen Ergebnisse tragen zu einer kundennahen und damit marktfähigen Entwicklung der untersuchten Systeme bei.

Abb. 2: Akzeptanzuntersuchungen

FAS Konzept-Entwicklung

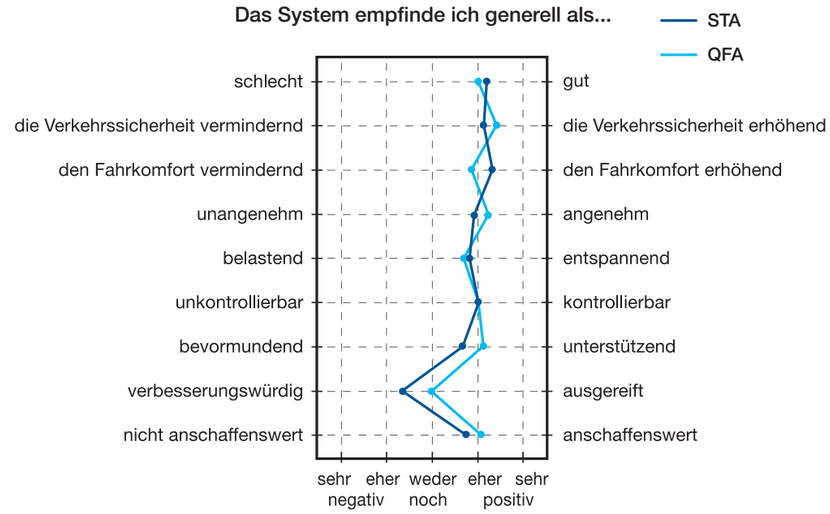
FAS Spezifikation

FAS Prototyp

Im Projektverlauf wurden verschiedene, dem jeweiligen Entwicklungsstatus der Systeme entsprechende Methoden angewandt. Um die potenziellen Kunden bereits während der Konzeptentwicklung einzubinden, wurde eine Multimediabefragung entwickelt und erprobt. Funktionsweise und Grenzen des jeweiligen Systems werden dabei verbal und visuell (über Trickfilmanimationen und Videosequenzen) vermittelt. Mit Hilfe eines integrierten Fragebogens geben die Probanden ihre Wertungen zu bestimmten Warnstrategien, Funktionen und Ausprägungen ab. Darüber hinaus können über Präferenzurteile und Priorisierungen bestimmter Funktionen oder Warnungen jene Systemkombinationen ermittelt werden, die den Kundenwünschen am besten entsprechen. Entscheidender Gewinn der Multimediabefragung ist, dass mit ihrer Hilfe innovative Systeme bereits frühzeitig anschaulich dargestellt und evaluiert werden können – d.h. noch bevor ein teurer Prototyp aufgebaut wird.

Ein Vergleich der Ergebnisse aus der Multimediabefragung mit den späteren Ergebnissen aus den Fahrversuchen zeigt: Die Multimediabefragung ist ein nützliches und effizientes Werkzeug, Nutzer bereits in einer frühen Phase der Produktentwicklung mit einzubeziehen. In vielen Aspekten stimmen die Ergebnisse beider Methoden überein. Die deutlichsten Unterschiede bestehen wie erwartet in der Kauf- und Preisbereitschaft, die bei den Fahrversuchen mehr als doppelt so hoch ausfällt. Der Nutzen eines solchen Systems will im wahrsten Sinne des Wortes „erfahren“ werden. Wird man den potenziellen Kunden am Markt später ermöglichen, die Systeme in einer Probefahrt kennen zu lernen, wird sich dies positiv auf den Absatz auswirken.

Abb. 3: Systembewertung für Querführungsassistent und Stauassistent jeweils nach dem Fahrversuch



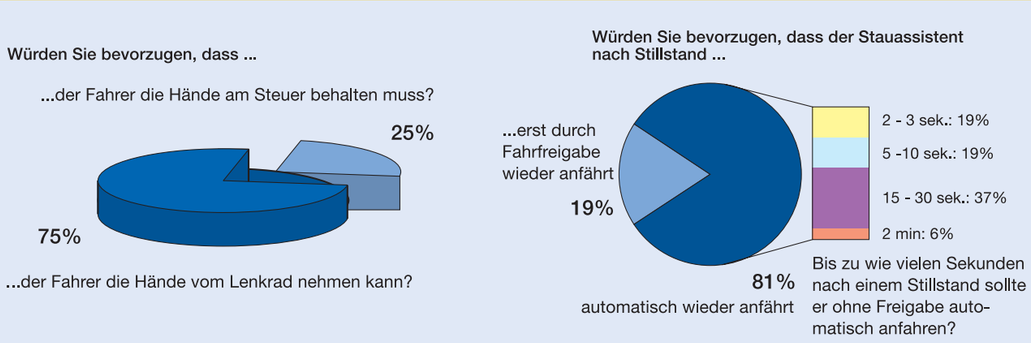
Ergebnisse – Was die Kunden denken

Generell bewerteten die Teilnehmer der Fahrversuche beide Systeme aus den Teilprojekten STA (Stauassistent) und VAS (Querführungsassistent) positiv. Wie die nachfolgende Abbildung zeigt, erhöhen diese Systeme aus Sicht der Fahrer die Verkehrssicherheit und den Fahrkomfort. Das Fahren mit diesen Systemen wird als angenehm und entspannend empfunden. Die Einstufung auf der Skala „verbesserungswürdig - ausgereift“ entspricht dem Tatbestand, dass sich beide Systeme noch in der Entwicklung befinden.

Der Hauptkaufgrund sowohl für den Stauassistenten als auch für den Querführungsassistenten wäre die Verringerung der Unfallwahrscheinlichkeit, gefolgt von einem Gewinn an Fahrkomfort durch die Fahrerentlastung.

Eine wichtige Erkenntnis zur Auslegung des Stauassistenten war, dass die Fahrer ein frühzeitiges Abbremsen und ausreichenden Abstand zum Vorderfahrzeug erwarteten – damit wird das subjektive Kontrollbedürfnis befriedigt: Der Fahrer kann zur Not noch eingreifen. Außerdem bevorzugten die Testfahrer die Wiederanfahrt ohne vorherige Freigabe und sprachen sich dagegen aus, dass der Fahrer die Hände zwingend am Lenkrad behalten muss, damit der Stauassistent aktiv ist (siehe Abb.4).

Abb. 4: Ergebnisse der Fahrversuche


Würden Sie bevorzugen, dass ...
...der Fahrer die Hände am Steuer behalten muss?
25%
75%
...der Fahrer die Hände vom Lenkrad nehmen kann?
Würden Sie bevorzugen, dass der Stauassistent nach Stillstand ...
...erst durch Fahrfreigabe wieder anfährt
19%
81%
automatisch wieder anfährt
2 - 3 sek.: 19%
5 -10 sek.: 19%
15 - 30 sek.: 37%
2 min: 6%
Bis zu wie vielen Sekunden nach einem Stillstand sollte er ohne Freigabe automatisch anfahren?

Bei dem Querführungsassistenten wurde die Leuchtanzeige am Außenspiegel ausgesprochen positiv bewertet. Neben der Warnung beim geplanten Spurwechsel (eine rote Anzeige am Spiegel) empfanden die Testfahrer auch die Information über belegte Nachbarfahrspuren (eine gelbe Anzeige) als hilfreich, selbst wenn sie gerade keinen Spurwechsel vornehmen wollten.

Als Warnung beim Spurverlassen wurden im Fahrversuch ein Vibrieren des Lenkrads sowie ein kurzes Gegenlenken angeboten. Für beides fand sich jeweils die gleiche Zahl an Fürsprechern, obwohl die Vibration insgesamt als besser wahrnehmbar beurteilt wurde. Was die Aktivierung des Systems anbelangt, zeigte sich wie in vielen anderen Studien auch, dass die Fahrerinnen und Fahrer die Unterstützung eines Systems durchaus schätzten – unter der Voraussetzung, dass sie sich auch dagegen entscheiden können: Das System sollte sich zwar automatisch einschalten, aber jederzeit manuell deaktivierbar sein.

Gebrauchssicherheit

Für den Querführungsassistenten führten die Projektpartner sowohl nach der Multimediabefragung als auch nach dem Fahrversuch einen „Verständlichkeitscheck“ im Multiple-Choice-Verfahren durch. Es stellte sich heraus, dass die Testpersonen die Funktionalität – was das System leisten kann – besser verstanden als die Systemgrenzen. Nach der Testfahrt war das Verständnis zwar besser als nach der Multimediabefragung; aber auch hier erwarteten die Testfahrer vom System mehr, als es tatsächlich leisten konnte, etwa das Funktionieren auch bei fehlender Fahrbahnmarkierung, das Erkennen von Hindernissen auf der Fahrbahn oder den Vorschlag, einen Spurwechsel vorzunehmen. Dieses Testergebnis – die Schwierigkeit, die Systemgrenzen zu verstehen – deckte sich mit der Selbsteinschätzung der Probanden nach den Fahrversuchen: Sie waren sich sicherer, die Systemfunktionalität verstanden zu haben als die Systemgrenzen.

Rechtsfragen und die Antworten

§ Rechtsfragen

Fahrerassistenzsysteme sollen dem Fahrer helfen, seine Fahraufgabe so zu erfüllen, dass weder er noch „ein Anderer geschädigt, gefährdet oder mehr als nach den Umständen unvermeidbar behindert oder belästigt wird“ (§ 1 Abs. 2 StVO). Im Mittelpunkt der technischen Systeme steht immer der Fahrer. Informationen, die das System erfasst und sammelt - aus dem Kfz, dem Verkehrsumfeld - können entweder einfach an den Fahrer weitergegeben werden: Er entscheidet, was zu tun ist. Fahrerassistenzsysteme können dem Fahrer aber auch einzelne Handlungen abnehmen und in das Fahrverhalten eingreifen. Dieser Eingriff des Systems muss grundsätzlich aber vom Willen des Fahrers getragen sein: Er muss die Möglichkeit haben, es zu aktivieren, deaktivieren oder übersteuern. Das gilt nicht, wenn in kritischen Fahrsituationen das System technisch in der situationsbezogen erforderlichen Effizienz etwas leistet, was der Mensch nicht mehr leisten kann.
Unterschieden werden muss ein Fahrerassistenzsystem von einem telematischen System – einem System, das unter Zuhilfenahme bordinterner Systeme von außen in die Fahrdynamik eingreift, unabhängig vom Willen des Fahrers. Solche telematischen Systeme werfen andere Fragen zur rechtlichen Zulässigkeit und Haftung auf.

Ein mögliches Szenario, bei dem einem Fahrer strafrechtlich und haftungsrechtlich schuldhaftes Fehlverhalten vorgeworfen werden könnte, kann sich ergeben, wenn er erkennbar ein Assistenzsystem nicht aktiviert oder deaktiviert hat oder es zu unrecht übersteuert hat und es dadurch zur Tötung oder Verletzung von Personen oder zu Sachbeschädigungen kommt. Führt eine Fehlfunktion des Assistenzsystems zu einem Unfall, ist ein Schuldvorwurf höchstens dann begründbar, wenn dem Fahrer die Fehlfunktion bekannt war, er sie aber nicht beseitigen ließ und bei einwandfreiem Funktionieren der Unfall vermieden worden wäre. Ohne solch möglichen Schuldvorwurf haftet der Fahrzeughalter gemäß § 7 StVG stets für die Folgen eines Unfalls, die sich aus einer Fehlfunktion ergeben.

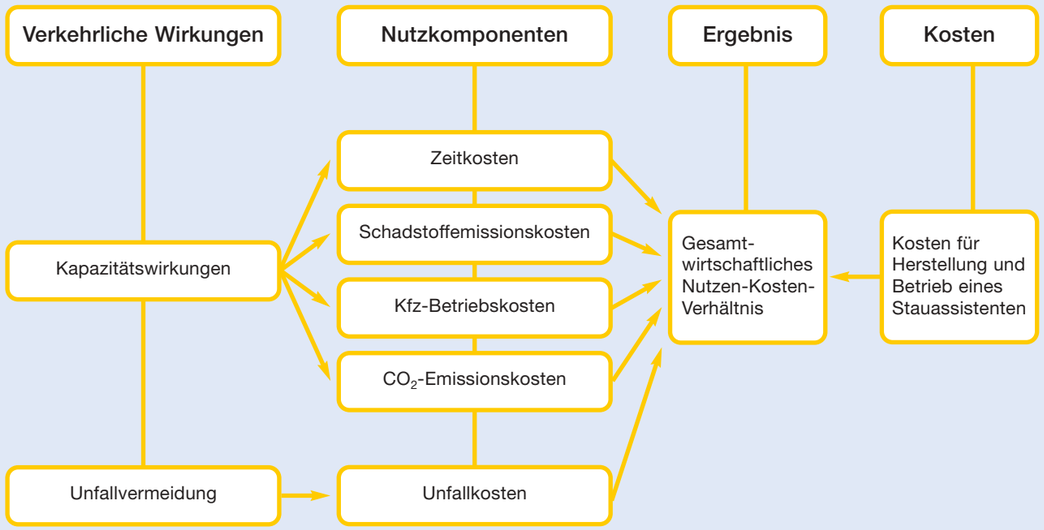
Arbeitsrechtlich interessant ist: Ein Arbeitnehmer würde bei einer betrieblichen Fahrt nicht für den Schaden aus einem Unfall mit dem Fahrzeug des Arbeitgebers haften, wenn der Arbeitgeber das Fahrzeug nicht mit einem Assistenzsystem ausgestattet hat, das den Unfall vermieden hätte. Wichtig ist das zum Beispiel bei LKW oder Omnibussen, die das Risiko eines hohen Schadens – am Fahrzeug, der Ladung oder durch entgangenen Gewinn – mit sich bringen.

Im Bereich Produkthaftung oder Produzentenhaftung können sich Probleme aus der Art und Weise ergeben, wie der Fahrer über Wirkungsweise und vor allem Grenzen des Assistenzsystems informiert wird. Das beginnt schon bei der Anzeige im Fahrzeug, ob ein System aktiviert ist oder nicht. Besondere Bedeutung hätte dieses Thema zum Beispiel für Fahrzeuge in einem Fuhrpark, die von häufig wechselnden Personen gefahren werden, wie Mietwagenflotten.

Ökonomische Bewertung

Bei der ökonomischen Bewertung im Rahmen von VRA wurde untersucht, ob der erwartete Nutzen der in INVENT entwickelten Fahrerassistenzsysteme, wie zum Beispiel verringerte Unfallzahlen und Zeiteinsparungen, größer sein wird als der Aufwand für Herstellung und Betrieb. Dabei nahmen die Projektpartner verschiedene Perspektiven ein, eine gesamtwirtschaftliche Sichtweise und eine privatwirtschaftliche (Nutzersicht). Die gesamtwirtschaftliche Beurteilung wurde mit Hilfe einer Nutzen-Kosten-Analyse (NKA) durchgeführt. Zur Quantifizierung des entstehenden Nutzens verwendeten die Partner Ergebnisse aus anderen Arbeitspaketen. So fanden beispielsweise Erkenntnisse aus Verkehrssimulationen für einen Stauassistenten Eingang in die Nutzenberechnungen (siehe Abb. 7). Nachstehende Abbildung 5 verdeutlicht den Ablauf der NKA für einen Stauassistenten.

Abb. 5: Analytischer Rahmen einer gesamtwirtschaftlichen NKA für einen Stauassistenten



Um abzuschätzen, welche Zeiteinsparungen Stauassistenten im Straßenverkehr bewirken können, betrachteten die Projektpartner die Zeitverluste durch Staus in Deutschland. Verschiedene Studien kommen dabei aufgrund unterschiedlicher Vorgehensweisen zu sehr unterschiedlichen Aussagen. Die veröffentlichten Zahlen variieren zwischen rund einer Milliarde (Wuppertal-Institut, 1995) und 4,7 Milliarden Stunden Zeitverlust pro Jahr (BMW-Studie, 1994). Die Kosten für die Gesellschaft werden mit bis zu 100 Milliarden Euro (BMW-Studie, 1994) beziffert. Darin enthalten sind aber auch Zeitverluste im Stadtverkehr, wo durch den Stauassistenten keine Verbesserungen im Verkehrsablauf zu erwarten sind. Andererseits muss eine weitere Erhöhung des Stauaufkommens in der Zukunft berücksichtigt werden.

Unter der Annahme, dass im Jahr 2010 5% aller Fahrzeuge mit einem Stauassistenten ausgestattet sind, und daraus resultierenden Reisezeiteinsparungen von 10% im Stauverkehr, berechneten die Projektpartner eine jährliche Zeiteinsparung von etwa 85 bis 130 Millionen Stunden mit einem Wert in Höhe von 1,1 bis 1,6 Milliarden Euro (Preisstand: 2005). Diese Zahlen beruhen auf Stauabschätzungen auf Basis makroskopischer Verkehrsmodelle und auf Auswertungen von Staumeldungen, die im Rahmen von VRA durchgeführt wurden.

Mit einer Verbesserung des Verkehrsflusses im Stau gehen außerdem Einsparungen beim Kraftstoffverbrauch sowie bei Schadstoffemissionen und CO_2-Emissionen einher. Im Vergleich ist der monetäre Wert dieser möglichen Einsparungen aber gering mit nur etwa 15% der ermittelten Zeitkostenersparnisse.

Abb. 6: Unfälle differenziert nach Unfallfolgen und Verkehrszustand im Jahr 2002 auf Autobahnen im Ballungsraum Köln

	Unfälle im frei fließenden Verkehr		Unfälle am Stauende		Unfälle in Staus	
Unfälle mit Personenschäden	**985**	**(13,0%)**	**181**	**(17,9%)**	**93**	**(5,8%)**
Dabei Getötete	35		1		0	
Dabei Schwerverletzte	285		35		2	
Dabei Leichtverletzte	1.176		327		135	
Schwerwiegende Unfälle mit Sachschäden	**2.002**	**(26,5%)**	**82**	**(8,1%)**	**87**	**(5,5%)**
Sonstige Sachschadensunfälle	**4.582**	**(60,5%)**	**749**	**(74,0%)**	**1.418**	**(88,7%)**
Unfälle insgesamt	**7.569**		**1.012**		**1.598**	

Quelle: Autobahnpolizei Köln

Neben Verkehrsflussverbesserungen sollen Fahrerassistenzsysteme auch Unfälle vermeiden helfen. Wie gut sie dies können, hängt von ihrer genauen Funktionsweise ab. Im Fall des Stauassistenten sind prinzipiell nur Unfälle im niedrigen Geschwindigkeitsbereich oder im Stau vermeidbar. In der Praxis kann zudem keine vollständige Verhinderung aller theoretisch vermeidbaren Unfälle erwartet werden.

Unfälle innerhalb von Staus machen jedoch nur einen geringen Anteil aller Autobahnunfälle aus und sind meist deutlich weniger schwer als im frei fließenden Verkehr oder am Stauende (siehe Abb. 6).

Das bedeutet für den Stauassistenten: Angesichts der relativ geringen Zahl vermeidbarer Unfälle und der geringen Unfallschwere ist der mögliche gesellschaftliche Nutzen durch Unfallvermeidung im Vergleich zu den möglichen Zeitkosteneinsparungen niedrig. Er beläuft sich bei einer Ausstattungsquote von fünf Prozent aller Fahrzeuge im Jahr 2010 auf rund 15 Millionen Euro (Preisstand: 2005). Die Nutzenanalyse zeigt also, dass ein Stauassistent vor allem durch Zeitgewinne für wesentliche Ressourceneinsparungen sorgen kann.

Vergleicht man schließlich den monetären Wert aller Ressourceneinsparungen mit den Kosten der Ausstattung der Fahrzeuge (Systemkosten von 1.500 Euro bei 5% Ausstattungsquote im Jahr 2010, durchschnittliche Lebensdauer zwölf Jahre), dann sind die Nutzen ca. 3,2- bis 4,7-mal so hoch wie die Kosten. Aus gesamtwirtschaftlicher Sicht ist der Einsatz von Stauassistenten demnach zu befürworten.

Kosten-/Nutzen-Analyse

Gesamtwirtschaftliche und private Nutzen von Fahrerassistenzsystemen

Kosten-/Nutzen-Analysen (KNA) werden vor allem eingesetzt, um die Zweckmäßigkeit staatlicher Vorhaben (z.B. im Bereich der Verkehrswege) aus gesamtwirtschaftlicher Sicht zu beurteilen. Eine gesamtwirtschaftliche KNA von Fahrerassistenzsystemen wurde im Rahmen von VRA deshalb durchgeführt, weil die vom privaten Sektor, also den beteiligten Unternehmen, entwickelten Fahrerassistenzsysteme nicht nur für den Nutzer sondern auch für die Allgemeinheit nutzenstiftend sein können – z.B. durch Zeiteinsparungen, Reduzierung von Schadstoffemissionen oder Unfallhäufigkeit. Im Einzelnen kann der Einsatz von Fahrerassistenzsystemen folgende Vorteile bieten:

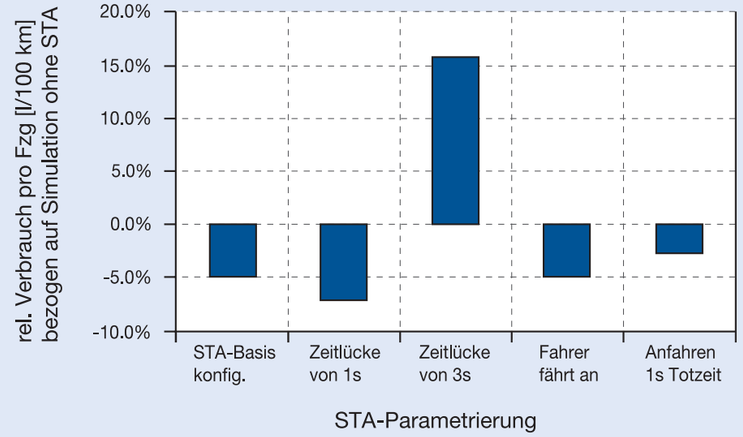
1. Nutzen für die Allgemeinheit bzw. andere Verkehrsteilnehmer durch verkehrliche Wirkungen (= Zeiteinsparungen, Einsparungen an Schadstoff- und C02-Emissionen sowie beim Kraftstoffverbrauch, Vermeidung von Unfällen)
2. Nutzen für den Käufer durch verkehrliche Wirkungen (Einsparungen beim eigenen Kraftstoffverbrauch, Vermeidung von Unfällen)
3. Nutzen für den Käufer durch nicht-verkehrliche Wirkungen (z.B. Komfort-, Prestigegewinn)

Daraus lassen sich verschiedene Aussagen ableiten:

– Eine KNA vergleicht die gesamten Systemkosten nur mit einem Teil der Nutzen, nämlich den verkehrlich relevanten (Nutzen 1 und 2). Deshalb lässt sich der Nutzen-Kosten-Koeffizient (NKK) für ein Fahrerassistenzsystem nicht direkt mit den NKK z.B. für Verkehrswegeinvestitionen vergleichen, bei denen ausschließlich verkehrliche Nutzen entstehen. Andererseits kommt dem Nutzen-Kosten-Koeffizienten für Fahrerassistenzsysteme eine andere Bedeutung zu als bei staatlichen Infrastrukturprojekten. Er dient nicht als Grundlage für die Entscheidung über die Umsetzung eines Projektes, sondern dient als Indikator für die Förderungswürdigkeit der Systeme.

– Der Käufer wird nur eine Zahlungsbereitschaft für die bei ihm anfallenden Nutzen (Nutzen 2 und 3) des Systems aufbringen. Aus ökonomischer Sicht ist eine Förderung der Systeme in Höhe der bei Dritten anfallenden Nutzen (Nutzen 1) zu rechtfertigen.

Abb. 7: Kraftstoffverbrauch bei unterschiedlicher Stauassistent-Parametrierung



Quelle: VRA, AP „Verkehrliche Wirkungen“

Ausblick

Für die unterschiedlichen Themenblöcke innerhalb des Projekts VRA werden die folgenden möglichen Weiterentwicklungen gesehen:

Die potentielle Erweiterung der integrierten Analyseplattform ist eine detaillierte Modellierung der Sensorik , um die funktionsbestimmenden Einflüsse der Sensoren in der Simulation zu berücksichtigen. Die wesentlichen Einflüsse wären die Sensorreichweite, inkl. Winkelabweichungen, Genauigkeit und Aufnahmefrequenz der sensierten Daten, systematische und zufällige Systemausfälle.

Die Simulationsmodelle enthalten zwar Parameter zur Nachbildung von Fahrfehlern (z.B. Spurwechselfehler), jedoch ist die Validierung dieser Parameter am Verhalten realer Fahrer völlig offen. Um die im Bereich der Fahrerassistenzsysteme zunehmend entwickelten Sicherheitssysteme in der Verkehrssimulation genauer untersuchen zu können, müssten die Modelle um eine validierte Abbildung von Fahrfehlern erweitert werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass die in die Untersuchung einbezogenen Fahrerassistenzsysteme bei potenziellen Kunden auf positive Resonanz stoßen. Zur Sicherung des Markterfolges erscheint eine aktive Vermarktung in Richtung „Erleben“ notwendig. Die Bedienung der Systeme ist innerhalb kurzer Zeit erlernbar, während die Systemgrenzen erst mit zunehmender Erfahrung vollständig erkannt werden.

Neben gesamtwirtschaftlichen Nutzen-Kosten-Betrachtungen muss in ökonomischen Analysen von Fahrerassistenzsystemen in der Zukunft verstärkt berücksichtigt werden, wie Komfortverbesserungen durch Fahrerassistenzsysteme Eingang in die Analysen finden können. Zudem ist auch der einzelwirtschaftlichen Rentabilität von Fahrerassistenzsystemen aus Nutzersicht große Beachtung zu schenken, da Kauf und Nutzung der Systeme davon abhängig sind. Schließlich sind weitere gesamtwirtschaftliche Effekte wie z.B. Beschäftigungswirkungen durch Herstellung und Nutzung von innovativen Fahrerassistenzsystemen zu beachten.

Verkehrsleistungsassistenz – VLA

Projektpartner

BMW Group
DaimlerChrysler AG
MAN Nutzfahrzeuge AG
Robert Bosch GmbH
Volkswagen AG

Einleitung

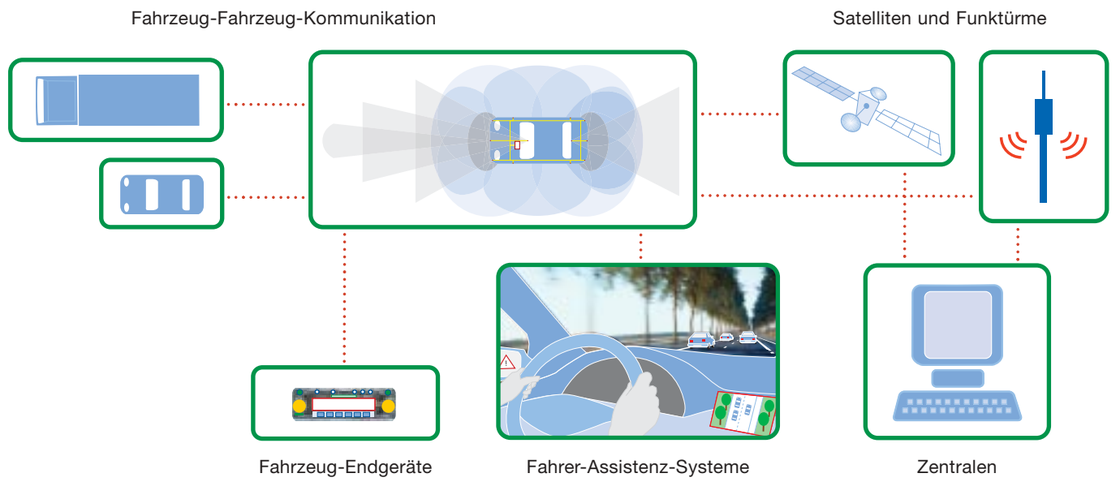
Teilprojekt Verkehrsleistungsassistenz – VLA

Das INVENT-Teilprojekt Verkehrsleistungsassistenz entwickelte Technologien und Anwendungen, die den Verkehrsfluss bei hohem Verkehrsaufkommen und dichtem Verkehr verbessern sollen. Im Vordergrund standen Assistenzsysteme, die Informationen aus dem Fahrzeugumfeld sammeln, dem Fahrer bereitstellen und ihn damit unterstützen. Der erweiterte Erfassungshorizont des Fahrers motiviert ein Fahrverhalten, bei dem sich Störungen im Verkehr nicht aufschaukeln. Oft lassen sich Verkehrsstörungen sogar schon im Ansatz vermeiden. Weniger Störungen bedeuten für den Einzelnen kürzere Reisezeiten, geringeren Kraftstoffverbrauch sowie stressfreies und sicheres Fahren. Ein handfester volkswirtschaftlicher Nutzen ergibt sich durch weniger Staus, eine bessere Nutzung des vorhandenen Straßenraums und niedrigere Schadstoffemissionen.

Fahrzeuge tauschen Informationen aus

Die Grundlage für Verkehrsleistungsassistenz-Lösungen sind Fahrzeuge, die mit modernen Systemen zur Umgebungserfassung, ausreichender Rechnerleistung und elektronischen Eingriffsmöglichkeiten in Antrieb, Bremse und Lenkung ausgestattet sind. Fahrzeuge der Oberklasse verfügen heute über solche Techniken, und in den Forschungs- und Entwicklungsabteilungen der INVENT-Partner wird schon an den Nachfolgegenerationen gearbeitet. Das Teilprojekt konnte deshalb auf bereits vorhandene Komponenten und ausgerüstete Prototypen zurückgreifen.

Abb. 1: Komponenten von Verkehrsleistungsassistenzsystemen



Eine weitere Voraussetzung zur Realisierung der Verkehrsleistungsassistenz-Ziele war die Fähigkeit der Fahrzeuge, Informationen auszutauschen. Abhängig von der Anwendung und der Art der Fahrmanöver, die unterstützt werden, müssen die Fahrzeuge direkt und schnell oder weiträumig kommunizieren können. Bei einer Stau- oder Gefahrenwarnung erfolgt die Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation mit Hilfe eines mobilen Ad-hoc-Netzwerkes, das im nicht lizensierten Frequenzbereich betrieben wird. Bei der weiträumigeren Übermittlung von lokalen Verkehrslagen oder von Information, die unmittelbar an Infrastruktureinrichtungen – etwa Verkehrszentralen – geknüpft ist, kommt der klassische Mobilfunk mit GSM zum Einsatz. Und schließlich erfolgt der direkte Datenaustausch zwischen Fahrzeugen über kommunizierendes Radar, wenn es um die Abstimmung von Fahrmanövern zum Beispiel beim Spurwechsel geht.

Die richtige Fahrstrategie

Der erste Schritt zur Vermeidung von Stop-and-Go-Verkehr und zur schnelleren Auflösung von Staus ist vorausschauendes Fahren. Dem Fahrer wird vom Fahrerassistenzsystem eine erweiterte Verkehrslage bereitgestellt – mit Informationen über Straßenzustand, Verkehrslage und Wetter. Damit weiß er mehr über den Verkehr in seiner Umgebung, als er selbst mit eigenen Augen wahrnimmt oder ihm die herkömmlichen Sensoren im Fahrzeug liefern.

Der zweite Schritt sind verkehrsangepasste Fahrstrategien, die Störungen vermeiden und den Verkehrsfluss harmonisieren. Die aktuelle Verkehrslage wird, sofern die lokale Infrastruktur mit einer Anlage zur Verkehrsdatenerfassung ausgerüstet ist, ins Fahrzeug übertragen. Sie kann aber auch vom Fahrzeug selbst ermittelt werden. Hier unterscheidet man Methoden, bei denen das Fahrzeug mit seinen eigenen Sensoren – auf der Basis von Radar oder Video – den Abstand zum Vordermann misst und die Fahrzeuge auf den Nachbarspuren beobachtet, von Methoden, bei denen der Verkehrszustand von vorausfahrenden Fahrzeugen kommuniziert wird.

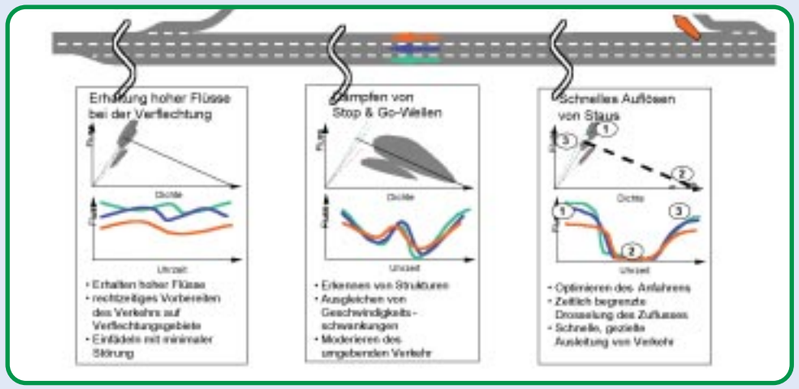
Fahrempfehlungen kann der Fahrer visuell und/oder akustisch erhalten, oder das System regelt Geschwindigkeiten und Abstände entsprechend der besten Fahrstrategie selbst.

Ergebnisse

Konzepte zur Verkehrsleistungssteigerung

Wie bei jedem Forschungsprojekt wurde im Teilprojekt Verkehrsleistungsassistenz zuerst die ursprüngliche Idee in einer Konzeptphase überprüft. Ausgangspunkt der Überlegungen waren Erkenntnisse über die Entstehung und Eigenschaften von Staus. Die zentrale Frage war, ob sich die Fahrzeugausrüstung der Zukunft zur besseren Organisation und Steuerung des Verkehrsablaufs nutzen lässt, und die Antwort war positiv. Die in Abb. 2 dargestellten Funktionen – Erhaltung hoher Verkehrsflüsse, Dämpfung von Stop-and-go-Wellen und Auflösung von Staus – sind in Versuchsfahrzeugen realisiert.

Abb. 2: Verkehrszustände, ihre typischen Eigenschaften und Ansätze zur Optimierung des Verkehrs


Erhaltung hoher Flüsse bei der Verflechtung
Dämpfen von Stop & Go-Wellen
Schnelles Auflösen von Staus
Fluss
Dichte
Ortszeit
• Erhalten hoher Flüsse
• rechtzeitiges Vorbereiten des Verkehrs auf Verflechtungsgebiete
• Einfädeln mit minimaler Störung
• Erkennen von Strukturen
• Ausgleichen von Geschwindigkeits-schwankungen
• Moderieren des umgebenden Verkehr
• Optimieren des Anfahrens
• Zeitlich begrenzte Drosselung des Zuflusses
• Schnelle, gezielte Ausleitung von Verkehr

Konzepte zur Verbesserung von Spurwechseln und zum besseren Verkehrsfluss an Knotenpunkten wurden in Machbarkeitsstudien untersucht. Technologien, mit denen sich durch direktes Eingreifen in die Fahrmanöver, also in Antrieb und Bremse, Geschwindigkeiten im Zulauf einer Engstelle anpassen, ausreichende Lücken zum Einfädeln erzeugen oder kürzere Fahrzeugabstände sicher einhalten lassen, kommen in Prototypen zum Einsatz.

Bei der Koordination des Verkehrs an Kreuzungen, wo durch eine Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur eine bessere Auslastung der Grünzeiten sowie eine deutliche Steigerung des Verkehrsdurchsatzes zu erwarten wäre, waren die technischen Hürden noch zu hoch. Obwohl bei der Nahbereichskommunikation zum schnellen Austausch von Positionen und Fahrerabsichten bedeutende Fortschritte erzielt wurden, hat sie noch nicht das Stadium erreicht, in naher Zukunft in Serienfahrzeugen zum Einsatz zu kommen. Insbesondere fehlen für diese Anwendung noch die Standardisierung und eine europaweite exklusive Funkfrequenz. Deshalb wurden die erforderlichen Verkehrsleistungsassistenz-Systeme zunächst nur in Simulatoren dargestellt und so ihr Potenzial abgeschätzt.

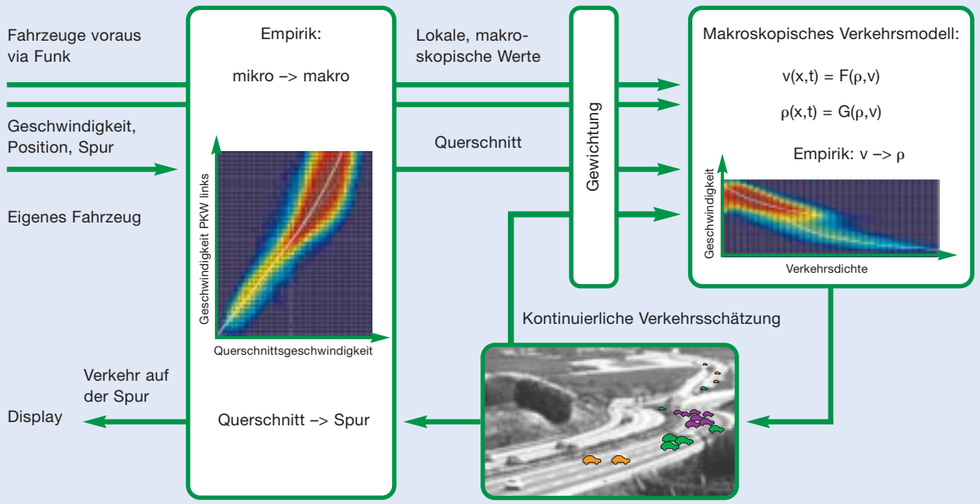
Verkehrslageschätzung im Fahrzeug

Eine besondere Herausforderung für das Teilprojekt Verkehrsleistungsassistenz war es, die anstehenden Aufgaben weitestgehend mit bordeigenen Systemen zu lösen. Hierzu entwickelten die Projektpartner modellgestützte Verfahren, um im Fahrzeug aus lokalen Verkehrs- und Umgebungsdaten die Verkehrslage zu rekonstruieren. Die primären Eingangsdaten für den so genannten „Onboard Traffic Monitor“ sind, wie in Abb. 3 dargestellt, die Eigengeschwindigkeit, die eigene Position und Fahrspur sowie die Geschwindigkeit und der Abstand des unmittelbar vorausfahrenden Fahrzeugs. Die beiden letzten Größen werden durch das Radar der Abstandsregelsysteme bestimmt. Informationen über Geschwindigkeiten, Positionen, Spurbelegungen und Abstände vorausfahrender Fahrzeuge ergänzen die primären Eingangsdaten; sie werden per Funkkommunikation über freie Frequenzbänder übermittelt.

Die Verkehrslageberechnung, unterstützt durch empirisches Wissen und eine Heuristik, liefert dann ein Geschwindigkeits- und Abstands- bzw. Dichteprofil der voraus liegenden Fahrstrecke. Sie bietet gegenüber der Wahrnehmung des Fahrers einen elektronisch erweiterten Verkehrshorizont und kann zum Beispiel vorhersehen, wenn sich der Fahrer einem Stau nähert. Details über den Geschwindigkeitsabfall und den Ort, an dem die Fahrzeuge zum Stillstand kommen, werden auf einem Monitor für den Fahrer übersichtlich dargestellt. Steht das Fahrzeug bereits im Stau, dann enthält die Darstellung Informationen über die Entfernung zum Staukopf, also zu der Stelle, an der sich die Kolonne wieder in Bewegung setzt, sowie Informationen über die erwartete Zeit, die das Fahrzeug noch im Stau stehen wird.

Das Teilprojekt Verkehrsleistungsassistenz untersuchte, ob bei der Verkehrslageschätzung auch auf die Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation verzichtet werden kann. Dann werden nur Messungen und Daten aus den fahrzeugeigenen Sensoren verwendet.

Abb. 3: Ermittlung der Verkehrslagen im Versuchsfahrzeug mit Kommunikation



Das Ergebnis: Schon durch intelligente Auswertung der Signale aus den in Abb. 4 sichtbaren zwei 24GHz-Seitenradarsensoren, die den Verkehr auf den Nachbarspuren links und rechts beobachten, und den Abstands- und Geschwindigkeitsmessungen des ACC-Radars lassen sich wichtige Kenngrößen wie mittlere Zeitlücken und Relativgeschwindigkeiten ermitteln und die lokale Verkehrslage gut beurteilen. (Abb. 5)

Abb. 4: Versuchsfahrzeug mit Sensoren zur lokalen Verkehrslageermittlung

Abb. 5: Lokale Verkehrslageermittlung und Verkehrslagedarstellung im Versuchsfahrzeug

Fahrzeugkommunikation über Radar

Zur lokalen Organisation des Verkehrsablaufes und zur Realisierung kooperativer Fahrmanöver – etwa abgestimmter Spurwechsel, Reißverschlussverfahren oder Verflechtungen – wird eine sehr schnelle und zuverlässige Übertragung von Datenpaketen über kurze Reichweiten benötigt. Die Verzögerungszeiten bei der Übertragung der Daten dürfen dabei 100 Millisekunden nicht überschreiten. Deshalb sind Verbindungen per GSM-Zellularfunk über Basisstationen nicht geeignet. UMTS ist für diese Art der Kommunikation ebenfalls nur bedingt geeignet. Andererseits sind die Entfernungen, über die kommuniziert werden muss, kleiner als 100 Meter.

Die Lösung: Damit keine laufenden Kosten für einen Funkdienst entstehen und keine zusätzlichen Antennen am Fahrzeug nötig sind, modifizierten die Projektpartner das Nahbereichsradar so, dass es Daten zwischen den Fahrzeugen übertragen kann. Gebühren für die Kommunikation entstehen nicht, da das lizenzfreie 24-GHz-Frequenzband genutzt wird. Andere lizenzfreie Frequenzbänder (zum Beispiel 2,4 GHz) sind für die vorgesehene Anwendung weniger geeignet, weil die Vielzahl der Nutzer zu störenden Wechselwirkungen führen kann.

Weil die Radarsignale und die Kommunikationssignale denselben physikalischen Kanal benutzen, mussten geeignete Multiplexverfahren identifiziert werden. Die Lösung für INVENT basiert auf speziellen Modulationsverfahren: Dem Signal des „Pseudo Noise Code Radars“ wird das bandgespreizte Kommunikationssignal überlagert. Aufgrund der unterschiedlichen Codes können die Signale im Empfänger getrennt werden. Diese Kommunikation über Radar wurde im Labor (Abb. 6) erfolgreich erprobt: Bei einer Datenrate von 11 MBit/s konnte sie eine Entfernung von 35 m überbrücken.

Abb. 6: Aufbau zum Test des Radars im Versuchsfahrzeug

Die Organisation des Local Area Networks (LAN) erfolgt als Ad-hoc-Netzwerk dynamisch und dezentral, wobei das Protokoll des etablierten Standards IEEE 802.11 b verwendet wurde. Für die vorgesehene Anwendung ist die Sicherheit der Datenübertragung von großer Bedeutung. Durch verfügbare Verschlüsselungsverfahren wird diese Sicherheit gewährleistet und der Datendurchsatz nur unwesentlich reduziert.

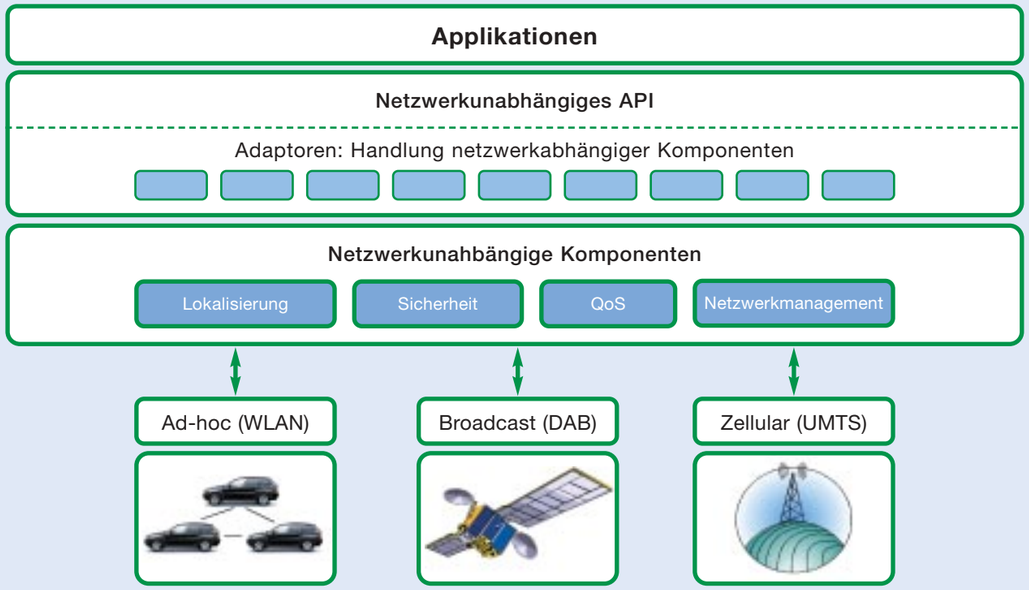
Neben dem „Pseudo Noise Code Radar“ wurde auch ein Puls-Radar untersucht. Hier konnten die VLA-Partner durch Simulation nachweisen, dass der Einsatz eines speziellen Übertragungsprotokolls („Automatic Request for Repeat, ARQ“) die Kommunikation auch unter diesen Randbedingungen ermöglicht.

Fahrzeugkommunikation über Mobilfunk

Zur weiträumigeren Übermittlung von lokalen Verkehrslagen oder von Informationen aus Verkehrszentralen können Mobilfunk-Technologien dienen. Das Teilprojekt Verkehrsleistungsassistenz untersuchte und bewertete mögliche Kommunikationssysteme und -verfahren und demonstrierte die Machbarkeit durch eine prototypische Realisierung in Versuchsfahrzeugen. Untersucht wurden dabei Nahbereichskommunikationssysteme (z.B. drahtlose LAN Systeme wie IEEE 802.11a und b), infrastrukturbasierte Kommunikationssysteme (z.B. GSM/GPRS) und Broadcast-Medien (z.B. DAB/NPAD).

Die Projektpartner entwarfen eine Systemarchitektur, die die Nutzung der verschiedenen drahtlosen Übertragungstechnologien für Verkehrsleistungsassistenz-Applikationen einfach über eine abstrakte, netzwerkunabhängige Schnittstelle mit Hilfe von Adaptoren ermöglicht (siehe Abb. 7).

Abb. 7: Systemarchitektur für die einfache Nutzung heterogener Funknetze

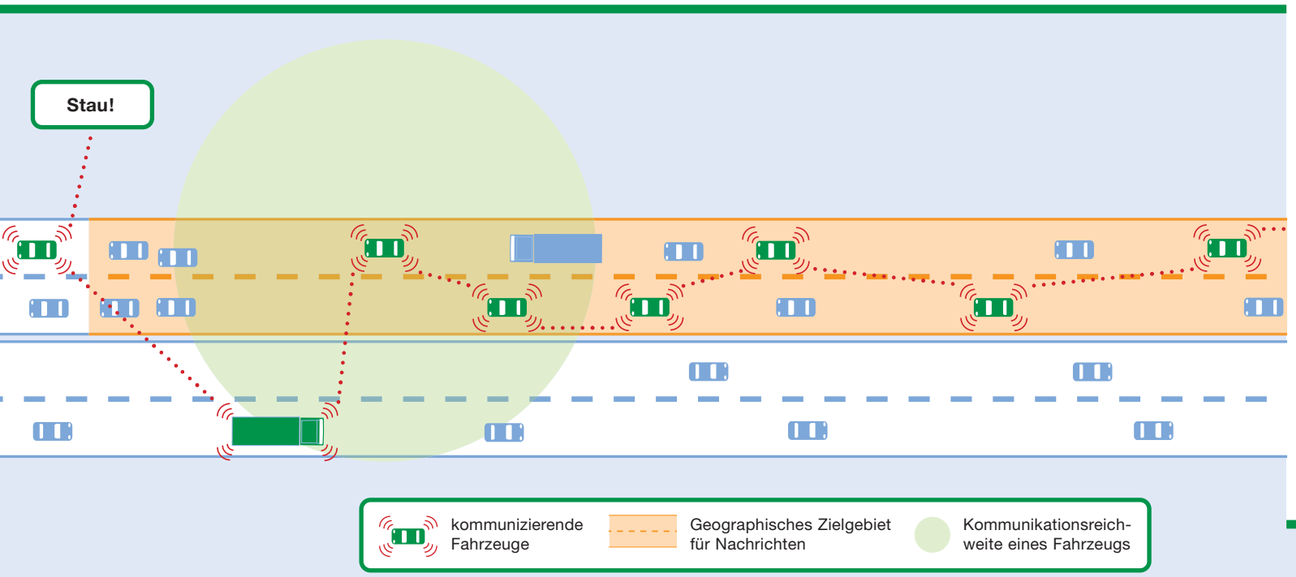


Vertieft betrachtet wurde anschließend der direkte Datenaustausch über ein mobiles Ad-hoc-Netz mit Geocast-Funktionalität, das sich für eine unmittelbare lokale und situationsbezogene Datenübertragung bei einer ausreichenden Menge teilnehmender Fahrzeuge als geeignet erwies (siehe Abb. 8); die Funkkommunikation erfolgt mit WLAN bei 5.x GHz (IEEE 802.11a).

Alle Fahrzeuge versenden im Verkehrsleistungsassistenz-System zyklisch (abhängig vom Verkehrsaufkommen einmal pro Sekunde oder jeweils nach wenigen Sekunden) eine Nachricht, die Informationen zum Beispiel über ihre Fahrtrichtung und Geschwindigkeit enthält. Diese Nachricht erhalten alle Fahrzeuge in einem definierten geographischen Zielgebiet. Um Verbindungslücken zu überspringen, wird die Nachricht von Fahrzeugen in der Gegenrichtung zwischengespeichert, mittransportiert und an die nachfolgenden Fahrzeuge weitergegeben. Zum verbesserten positionsbasierten Weiterreichen und Zwischenspeichern von Nachrichten dienen Straßentrajektorien aus digitalen Karten, wenn sie in den Fahrzeugen vorhanden sind. Die Nutzung

dieser Trajektorien erlaubt eine effizientere Bestimmung des Zielgebiets und reduziert die Belastung des Funkkanals. In dichtem Verkehr wird eine weitere Reduktion von Nachrichtentransmissionen dadurch erreicht, dass nur jeweils das Fahrzeug, das am weitesten entfernt vom vorhergehenden Sender in Ausbreitungsrichtung liegt, die Nachricht wiederholt.

Abb. 8: Konzept des Geocast bei Verkehrsleistungsassistenz-Systemen



Um einen Missbrauch des Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikationssystems zu verhindern und die Integrität der übertragenen Daten zu gewährleisten, implementierten die Projektpartner ein Signaturverfahren und untersuchten, wie sich die Übermittlung redundanter Nachrichten zur Detektion falscher Informationen eignet.

Die Kombination all dieser Konzepte ist in mehreren Prototypen in Versuchsfahrzeugen implementiert. In Tests konnten die Partner erfolgreich den rechtzeitigen und zielgerichteten Austausch von Verkehrsleistungsassistenz-Daten über das Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikationssystem nachweisen und demonstrieren. Die Kommunikation der Fahrzeuge über das mobile Ad-hoc-Netzwerk wurde insbesondere in einem Versuch mit acht Fahrzeugen gezeigt. Neben der vorausschauenden Verkehrsinformation wurde auch eine adaptive Geschwindigkeitsregelung implementiert.

Im Versuchsszenario übernahm, wie in Abb. 8 dargestellt, ein Lkw die Rolle eines Knotens, der die erzeugte Verkehrsinformation aufnimmt, in Gegenrichtung transportiert und an betroffene Fahrzeuge übergibt. Diese wiederum bauen eine Meldekette auf, die die Information weiter stromaufwärts an nachfolgende Fahrzeuge leitet.

Demonstratoren zeigen die Wirksamkeit

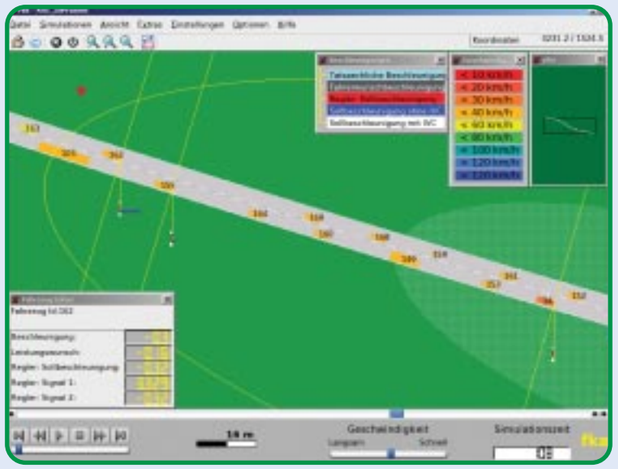
Aufgabe, Funktionsprinzip und Wirkung von Verkehrsleistungsassistenz-Systemen veranschaulichen die Projektpartner anhand von Demonstratoren. Die Fokussierung auf Technik, Mensch und Verkehr – also technische Machbarkeit, Bedienbarkeit und Akzeptanz und die tatsächlichen verkehrlichen Auswirkungen – erfordern unterschiedliche Typen von Demonstratoren, um die vielschichtigen Aspekte der Assistenzsysteme aufzeigen zu können (Abb. 9).

In den Fällen, in denen nur wenige Demonstratoren zur Verfügung stehen oder wichtige Basistechnologien noch nicht verfügbar sind, zeigt die Simulation die Funktions- und Wirkungsweise eines auf den Verkehr fokussierten Systems. Untersuchungen über Änderungen von Parametern oder Ausstattungsraten geben Hinweise über Potenziale der zukünftigen Systeme zur Verkehrsleistungsassistenz.

Abb. 9: Fahrzeuge, Simulatoren und Verkehrssimulationstools zur Entwicklung, Untersuchung und Demonstration

Verkehrszustände wie Stop-and-Go-Verkehr und Staus lassen sich im Demonstrator „Verkehrssimulation“ reproduzierbar darstellen. Fahrzeugfeine, mikroskopische Simulationsmodelle liefern die Fahrstrategien zur Stauvermeidung und schnellen Stauauflösung. Um verschiedene Aspekte der Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation zu untersuchen, wurden die Verkehrssimulatoren noch erweitert. Die „intelligenten“ Fahrzeuge können auf Rechnern abgebildet, untersucht und optimiert werden.

Abb. 10: Untersuchung, Auslegung und Beurteilung der Fahrzeugregler mit mikroskopischen Modellen



Bei der Simulation zeigte sich, dass die Funktion der Regler dem jeweiligen lokalen Verkehrszustand angepasst sein muss:

- Im freien Verkehr: normales Fahrverhalten
- Bei Stauannäherung: frühzeitiges, sanftes Bremsen für Sicherheit und Komfort
- Im Stau: normales Fahrverhalten
- An Störstellen: Verringerung des Folgeabstandes zur Steigerung der Kapazität
- Bei Ausfahrt aus dem Stau: zügiges und rechtzeitiges Beschleunigen zur Stauauflösung

Diese unterschiedlichen Fahrstrategien wurden in der Simulation und in einem Versuchsfahrzeug durch eine entsprechende Anpassung des Reglerverhaltens realisiert. Dabei zeigte sich auch eine ganz besondere Gefahr, die die Änderung des Reglerverhaltens birgt. Mitunter trat eine rasche örtliche Ausbreitung des Staus auf, wenn mit der Informationsausbreitung auch das Reglerverhalten geändert wurde. Solche Effekte konnten die Projektpartner entdecken, untersuchen und bei der Reglerauslegung berücksichtigen, so dass sie schließlich ein sicheres und gleichzeitig verkehrlich sehr wirksames Reglerverhalten erreichten.

Die Ergebnisse dieser Voruntersuchungen wurden im Simulator und in Versuchsfahrzeugen realisiert. Die Änderung der drei zentralen Parameter des Geschwindigkeits- und Abstandsreglers, der Folgezeitlücke, der Wunschbeschleunigung und der akzeptierten komfortablen Bremsverzögerung, wurden zusammen mit fünf Verkehrszuständen in einer Matrix festgelegt (siehe Abb. 11).

Abb. 11: Optimierung der Verkehrsleistungsassistenz Systeme mit Hilfe der Verkehrssimulation

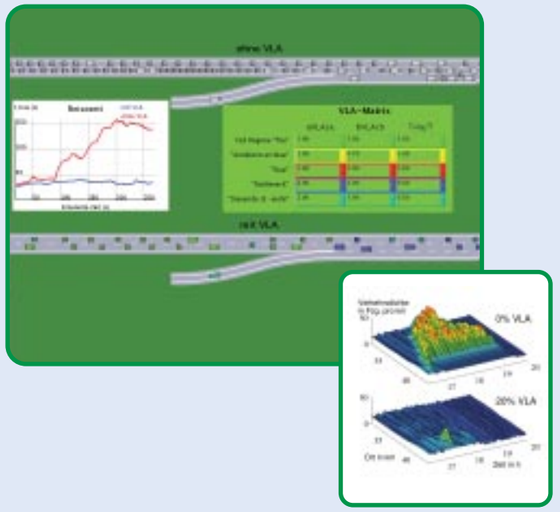
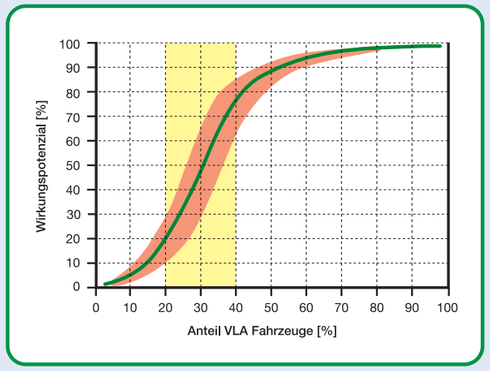


Abb. 12: Stabilisierende Wirkung von Verkehrsleistungsassistenz (VLA)



Um die Realitätsnähe der Simulationen zu überprüfen, reproduzierten die Projektpartner gemessene Verkehrszustände, etwa aus Detektordaten mit einem speziellen Verfahren rekonstruierte Staus auf der Autobahn A8-Ost bei München. Anschließend untersuchten sie die Wirksamkeit der Maßnahmen in Abhängigkeit vom Ausstattungsgrad in computersimulierten Verkehrs-Szenarien. Dabei berücksichtigten sie alle Komponenten wie ACC, Verkehrsdynamik, Kommunikation, Verkehrszustandserkennung und Strategie der Verkehrsleistungsassistenz-Fahrzeuge im Zusammenspiel.

Durch eine geeignete Visualisierung der Simulationsergebnisse lassen sich die verkehrlichen Wirkungen anschaulich darstellen. Beispielsweise zeigen die Simulationen, dass die Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation bereits dann funktionsfähig ist, wenn nur 5 Prozent aller Fahrzeuge mit der Technologie ausgerüstet sind und auch die Gegenfahrbahn zur Übertragung von Nachrichten genutzt wird. Mit geeigneten Strategien kann ein Stau bereits mit 10 Prozent Ausstattungsgrad reduziert und mit 20 Prozent Ausstattungsgrad nahezu verhindert werden (vgl. Abb. 11 und 12).

In einer Online-Simulation (Abb. 13) ist der Eingriff aufgrund der zusätzlichen Information durch die Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation sowohl aus Fahrersicht als auch aus der Vogelperspektive erlebbar.

Abb. 13: Erleben der Wirkung von Inter-Vehicle-Communication (IVC) aus Fahrersicht

Nutzerperspektive

Die Projektpartner führten eine Akzeptanzbefragung über das Internet mit rund 500 Teilnehmern durch. Das Ergebnis: Die Befragten waren grundsätzlich der Idee der Verkehrsleistungsassistenz gegenüber positiv eingestellt, setzen große Hoffnungen in Assistenzsysteme zur Verkehrsoptimierung und sahen als vordringliche Themen die Verhinderung von Staus und die Bereitstellung von Informationen zur Staudauer und Staulänge.

Fahrsimulatoren bieten die Möglichkeit, die entwickelten Verfahren in realitätsnahen und reproduzierbaren Verkehrsszenarien zu demonstrieren. Dadurch lässt sich mit ihnen die Funktionalität einer Verkehrsleistungsassistenz erleben, auch wenn sie auf der Straße noch nicht gezeigt werden kann. Der Simulator bietet darüber hinaus die Möglichkeit, Änderungen des Fahrverhaltens, die durch die Verkehrsleistungsassistenzkonzepte entstehen, in der Laborumgebung zu messen.

Dazu erprobten 30 Teilnehmer die Verkehrsleistungsassistenz-Lösungsansätze in spezifischen Verkehrssituationen wie Stop-and-Go-Verkehr, einer unfallbedingten Spursperrung oder einem durch eine Ausfahrt bedingten Rückstau. Auch hier stießen die entwickelten Konzepte auf eine sehr hohe Akzeptanz.

Positive Einflüsse auf das Fahrverhalten weisen die Projektpartner zum Beispiel bei der Annäherung an einen Stau, beim Verhalten im Stau und bei der Ausfahrt aus dem Stau nach. So zeigen sie, dass die Fahrer auf den Hinweis, dass sie sich einem Stau nähern, langsamer an dessen Ende heranfahren. Innerhalb des Staus sorgt schon die Bereitstellung zuverlässiger Informationen zur Staudauer und Staulänge für eine Beruhigung der Fahrweise, indem Fahrer nicht mehr auf jede Geschwindigkeitsänderung des umgebenden Verkehrs unmittelbar reagieren.

Abb. 14: Erlebbarkeit und Akzeptanzuntersuchungen im Fahrsimulator

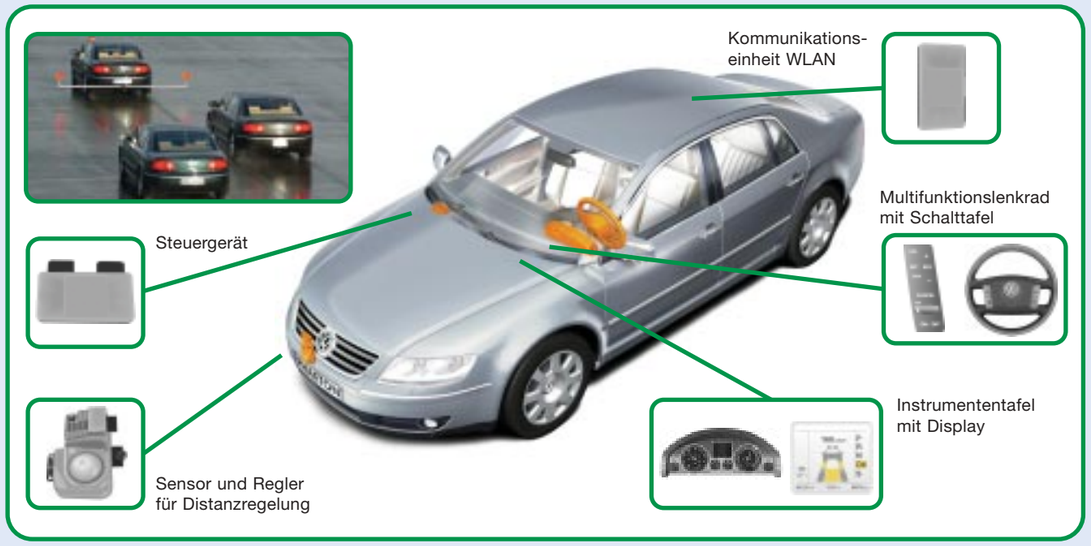
Darstellung und Erprobung in Fahrzeugen

Die detaillierte Beurteilung der lokalen Verkehrslage erlaubt die Bestimmung der richtigen Fahrstrategie. Diese kann in Empfehlungen für den Fahrer umgesetzt und in visueller, haptischer oder akustischer Form ausgegeben werden. Ein Beispiel für die grafische Darstellung des stromabwärtigen Geschwindigkeits- und Dichteprofils im Fahrzeug ist in Abb. 15 zu sehen. Das Display, das symbolisch die Fahrzeuge zeigt, zu denen Funkkontakt besteht, enthält auch Hinweise und Fahrempfehlungen, damit der Verkehr optimal ablaufen kann. Bei einer anderen Anwendung wurde auch der Eingriff in die Regelelektronik realisiert. Die Parameter der Abstandsregelung werden dann so eingestellt, dass das Folgeverhalten des Fahrerzeugs optimal der Verkehrslage angepasst ist. Dabei werden die Daten durch vorausfahrende Fahrzeuge erzeugt und übertragen.

Bei der praktischen Umsetzung der adaptiven Geschwindigkeitsregelanlage in einem VW Phaeton (Abb. 16) wurde der serienmäßige Regler durch einen neu entwickelten verkehrsadaptiven Regler ersetzt. Bei der Erprobung untersuchten die Projektpartner das Fahrverhalten in Verkehrsleistungsassistenz-relevanten Situationen. Die Ergebnisse zeigen: Der verkehrsadaptive Geschwindigkeitsregler ist praxistauglich; es wurden keine negativen Veränderungen in Bezug auf Fahrkomfort und Verkehrssicherheit festgestellt, aber eine verkehrsoptimale Fahrweise erreicht.

Abb. 15: Darstellung der verkehrlichen Vorausschau im Fahrzeug

Abb. 16: Fahrzeug, Komponenten und Versuchsszenario der adaptiven Geschwindigkeitsanpassung



Als Vertreter der Nutzfahrzeuge des Güterfernverkehrs wurde als Demonstrator ein MAN-Sattelzug aufgebaut (Abb. 17).

Abb. 17: Nutzfahrzeug-Demonstrator mit Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation

Die Partner untersuchten im Nutzfahrzeug-Demonstrator vor allem Aspekte der Datenübermittlung in mobilen Ad-hoc-Netzwerken. Wegen der im Verhältnis zum Pkw großen Fahrzeugmaße (Länge 16,5 Meter, Breite 2,55 Meter, Höhe 4 Meter) können andere, ausgestattete Verkehrsteilnehmer durch den Fahrzeugaufbau funktechnisch verdeckt und damit die Datenübertragung beeinträchtigt sein, obwohl sie sich innerhalb der erzielbaren Reichweite befinden.

Abb. 18: Antennen-Befestigung am Nutzfahrzeug-Demonstrator

Die Wahl der Befestigung der WLAN-Antenne für die Kommunikation war deshalb besonders wichtig. Der Einbauort – Halter für die linken Außenspiegel außen am Fahrzeug (siehe Abb. 18) – bietet im Verkehrsgeschehen die höchste Wahrscheinlichkeit für das Zustandekommen einer Datenübertragung zu anderen ausgestatteten Verkehrsteilnehmern sowohl in gleicher Fahrtrichtung als auch in Gegenrichtung.

Eine Integration und Darstellung der übermittelten Verkehrsleistungsassistenz-Nachrichten im Navigationssystem zur Evaluierung und Demonstration der Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation ist in einem BMW 7er realisiert (siehe Abb. 19). Neben einer Darstellung empfangener Stau- und Gefahrenmeldungen kann die digitale Karte auch die Positionen der anderen Verkehrsleistungsassistenz-Fahrzeuge in Echtzeit anzeigen. Dies verdeutlicht den Realzeit-Charakter des Ad-hoc-Kommunikationssystems. Eine vergleichbar schnelle und genaue Information über Positionen und Geschwindigkeiten vorausfahrender Fahrzeuge ist mit anderen Funksystemen mit dem heutigen Stand der Technik nicht möglich.

Abb. 19: Demonstration von Realzeit-Verkehrsinformation und Gefahrenmeldungen über Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation

Zusammenfassung und Ausblick

Im Teilprojekt Verkehrsleistungsassistenz werden Lösungen demonstriert, mit denen der Verkehr auf Fernstraßen verbessert wird. Ausgehend von theoretischen Überlegungen, wurden die Grundlagen der Verkehrszustandserkennung für das Fahren mit einem „Telematischen Horizont“ und die dazugehörigen Algorithmen für ein verkehrsoptimales Fahren mit Hilfe von Fahrerassistenzsystemen erarbeitet. Ein wichtiger Schritt war die Nutzung der Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation zur Realisierung dieser Funktionen. Der Einsatz von Simulatoren zum Nachweis der verkehrlichen Wirksamkeit und zur Untersuchungen der Fahrer-Akzeptanz zeigt das beachtliche Potenzial, das diese Systeme aufweisen.

Weiterer Forschungsbedarf wird bei der Anwendung derartiger Lösungen auf Straßennetzen und im gesamten Verkehrskontext gesehen. Auch die engere Vernetzung (Kommunikation und Kooperation) zwischen Fahrzeugen untereinander, der Infrastruktur und dem öffentlichen Verkehrsmanagement muss ein Schwerpunkt der künftigen Arbeiten sein. Insbesondere gilt es, die künftigen Systeme so zu gestalten, dass Organisation und Ablauf des Verkehrs durch Kooperation entscheidend verbessert wird, und dass der Grundgedanke des §1 der StVO:

> „Die Teilnahme am Straßenverkehr erfordert ständige Vorsicht und gegenseitige Rücksicht. Jeder Verkehrsteilnehmer hat sich so zu verhalten, dass kein Anderer geschädigt, gefährdet oder mehr, als nach den Umständen unvermeidbar, behindert oder belästigt wird.“

der kooperatives Verhalten von den Verkehrsteilnehmern fordert, bereits in den Systemen implementiert ist.

Netzausgleich Individualverkehr – NIV

Projektpartner

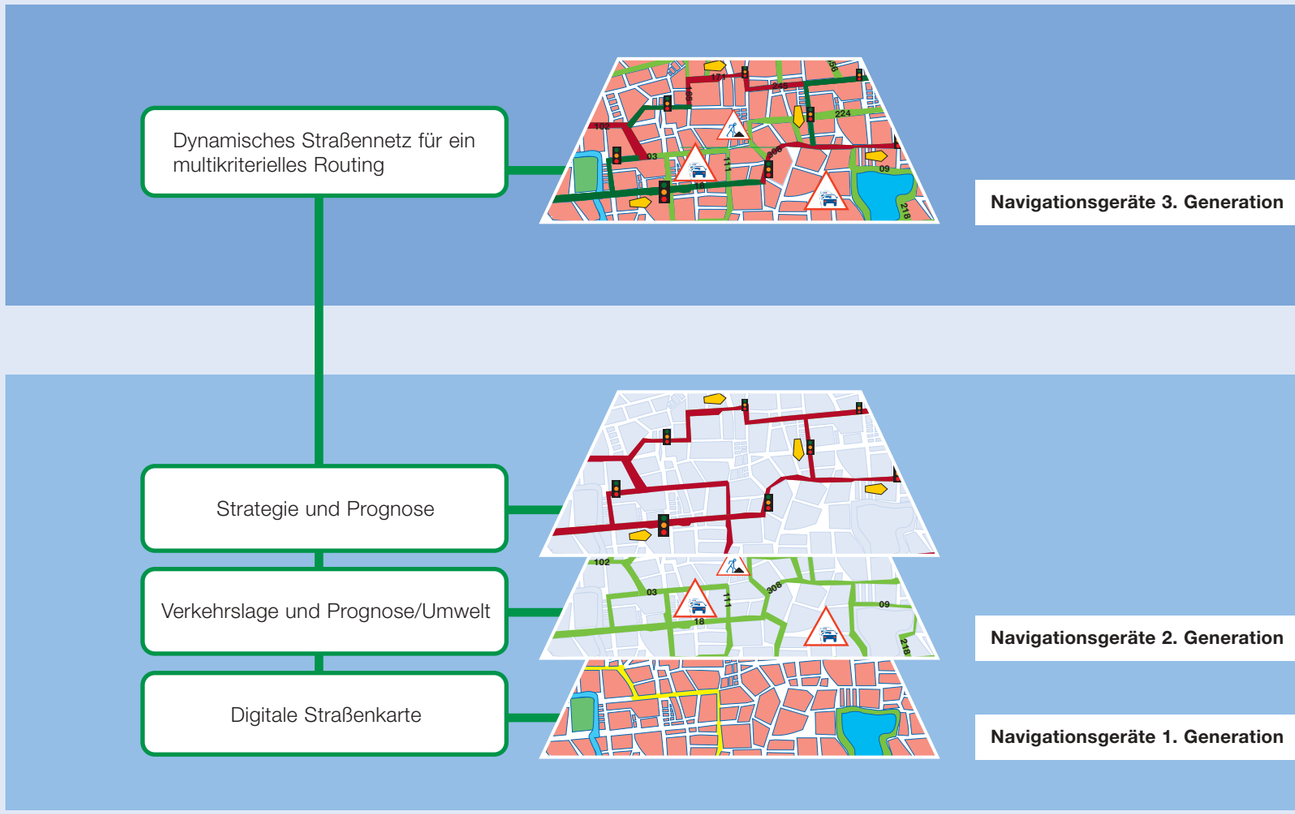
BMW Group
DaimlerChrysler AG
DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Ford Forschungszentrum Aachen GmbH
Institut für Automation und Kommunikation e.V. Magdeburg
NAVTEQ GmbH
PTV Planung Transport Verkehr AG
Robert Bosch GmbH
Siemens AG
Siemens VDO Automotive AG
TRANSVER GmbH

Einleitung

Teilprojekt Netzausgleich Individualverkehr – NIV

Die Leistungsfähigkeit des Straßenverkehrsnetzes zu erhöhen – das war die Aufgabe des INVENT-Teilprojekts Netzausgleich Individualverkehr (NIV). Hauptziel war es, die individuelle Information des Autofahrers sowie die strategische Lenkung der Verkehrsströme zu verbessern, um die zur Verfügung stehende Verkehrsinfrastruktur in Zukunft effizienter zu nutzen.
Dafür entwickelte das INVENT-Teilprojekt neue Zielführungssysteme, die auch als dritte Generation von Navigationssystemen bezeichnet werden. Hierbei werden zusätzlich zur digitalen Straßenkarte zahlreiche dynamische Informationen, sogenannte Netzebenen berücksichtigt (siehe Abb. 1). Durch den Einsatz dieser innovativen Navigationsgeräte, zusammen mit neuartigen Verkehrsleistungsassistenzsystemen, konnten die INVENT-Partner einen gesamtverkehrlichen Nutzen erzielen. Versuche in den Städten München und Magdeburg zeigen, dass sich der Verkehr besser auf den einzelnen Strecken organisiert und auch besser auf das zur Verfügung stehende Hauptstraßennetz verteilt. Die Streckenleistungsfähigkeit und die Netzleistungsfähigkeit können so gesteigert und Überlastungsfolgen wie Staus vermindert werden.

Abb. 1: Dynamische Netzebenen für eine verbesserte Navigation



Die Systemarchitektur der in NIV entwickelten Lösung beruht auf fünf Prozessschritten (siehe Abb. 2):

- Aufbau der technischen Systemarchitektur zur **Datenhaltung in den Testfeldern**
- **Datenerfassung und -verarbeitung** zur Ermittlung der Verkehrslage und -prognose, der Umweltlage und Durchführung einer Datenfusion
- Einbindung von **Verkehrsmanagementstrategien** der Verkehrszentralen
- **Dynamisches Routing** und Kommunikation mittels **Wegepunkt-** und **Teilnetzverfahren**
- Berücksichtigung der Nutzerwünsche im **Navigationssystem**

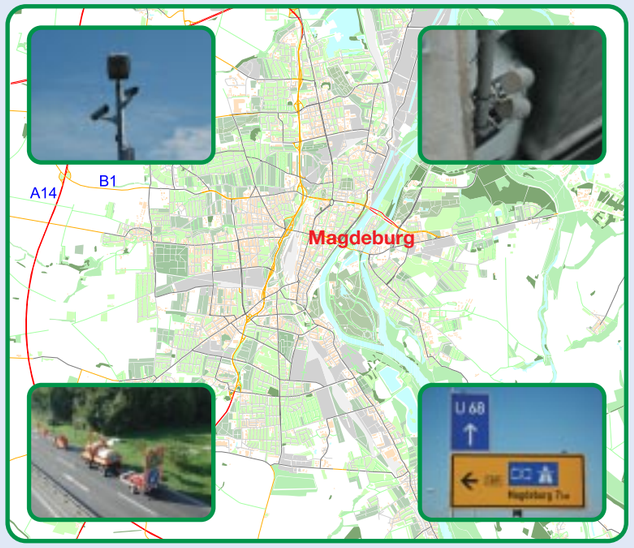
Die Informationsflüsse und technischen Schnittstellen sind so angelegt, dass sie ohne weiteres auch für zukünftige Anforderungen erweitert werden können. Das gilt vor allem für die Datenbanken Detektion, Verkehrslage und -prognose sowie Umweltlage: Durch die Einbindung von zusätzlichen Daten kann dem Kunden ein noch breiteres Servicespektrum angeboten werden. So sind zum einen inhaltliche Erweiterungen möglich, indem bereits bestehende Serviceangebote verbessert werden, zum anderen räumliche Erweiterungen auf weitere Städte und Regionen.

Abb. 2: Wertschöpfungskette für die Navigationen der dritten Generation

Testfelder München und Magdeburg

In zwei Testfeldern in München und Magdeburg (siehe Abb. 3) wurde die gesamte Infrastruktur für die neu entwickelte Zielführung aufgebaut und in Betrieb genommen. Die NIV-Systeme bewiesen bei den Versuchen eindrucksvoll ihre Funktionsfähigkeit und Wirksamkeit. Außerdem konnte die Übertragbarkeit der Systemarchitektur und der Schnittstellen innerhalb des Projekts dargestellt werden.

Abb. 3: Testfelder München und Magdeburg



Ergebnisse

Systemarchitektur zur Datenintegration und Datenhaltung in den Testfeldern

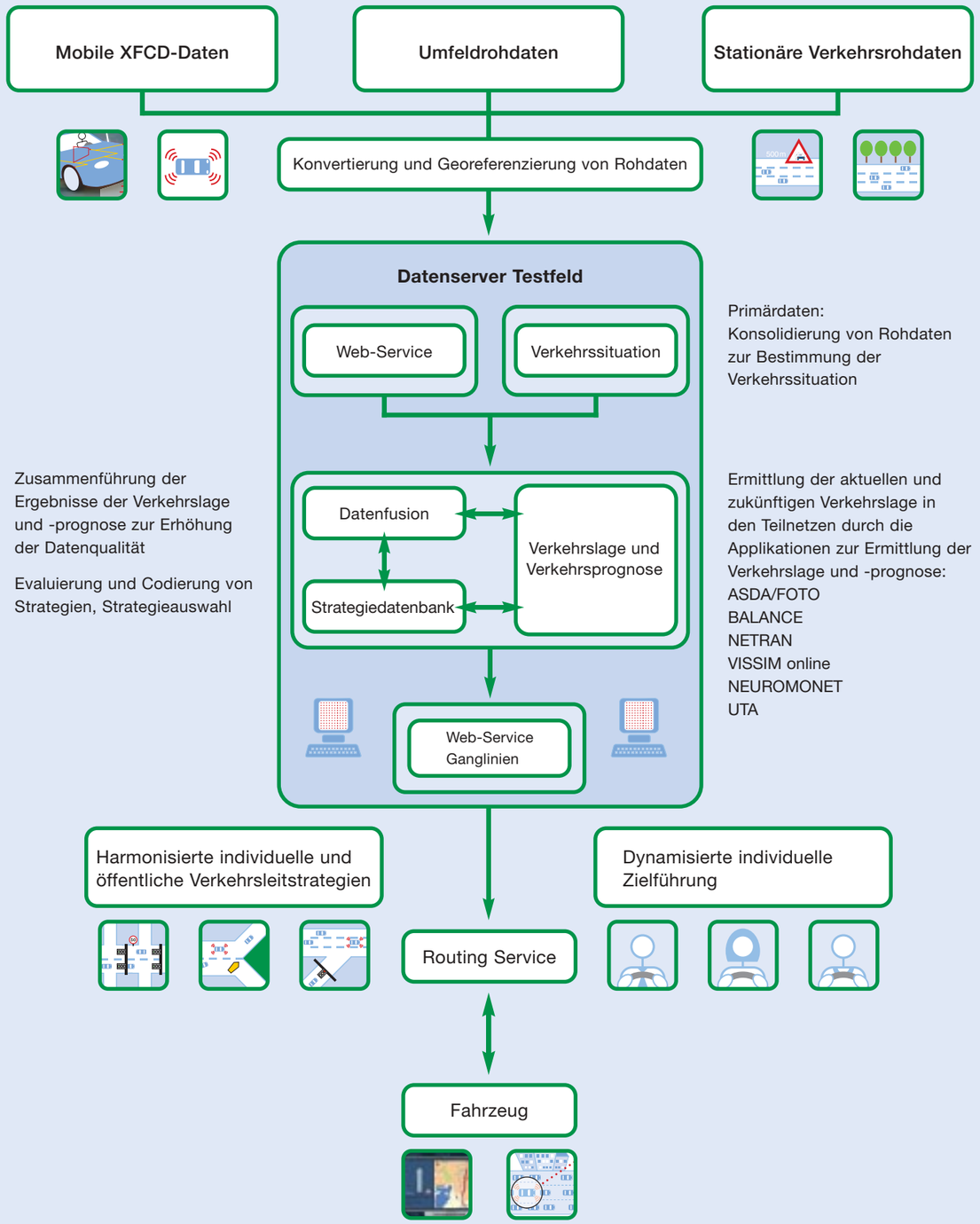
Die Hauptaufgabe des **Testfeldes München** ist es, möglichst umfassend reale Verkehrsmesswerte offline und auch online in einer Datenbank bzw. über die bereits definierten Schnittstellen bereitzustellen. Die zweite wesentliche Aufgabe ist, die daraus berechneten Ergebnisse zur Verkehrslage und -prognose auch anderen INVENT-Partnern verfügbar zu machen. Dabei wird im Testfeld eine Datenkonsolidierung und eine Datenfusion durchgeführt. Zur örtlichen Referenzierung dient – ebenso wie im Testfeld Magdeburg – eine digitale Karte. Testfeldspezifische Informationen, die über den Versorgungsumfang der vorhandenen digitalen Karte hinausgingen, wurden als zusätzliche Netzebenen aufgesetzt und werden in einer Datenbank bereitgestellt.

Bei der sukzessiven Entwicklung des Testfeldes schufen die Projektpartner zunächst die Grundfunktionen zur Kommunikation und Datenverwaltung. Die Verfahren zu Bestimmung von Verkehrslage und Verkehrsprognose und für das Strategiemanagement und Routing wurden anschließend integriert (siehe Abb. 4).

Im **Testfeld Magdeburg** liegt der Schwerpunkt auf dem Aufbau und der Bereitstellung einer IT-Infrastruktur zur Erfassung, Verarbeitung und Aufbereitung von verkehrlichen und infrastrukturellen Daten in Datenbanken (Wissensbasis). Dazu wurden verschiedene Datenquellen zur Ermittlung der Verkehrs- und Umweltlage erschlossen und die rechentechnische Grundlage für die Verwaltung dieser Daten geschaffen. Die verschiedenen Ebenen der Wissensbasis enthalten netzbezogene Daten zur Infrastruktur, zur aktuellen Verkehrslage, zur Verkehrsprognose, zur aktivierten Verkehrsleitstrategie und zur Umweltlage.

Parallel zur Entwicklung und Implementierung der verschiedenen Verfahren, Modelle und Strategien wurden im Testfeld Magdeburg verschiedene Basiskomponenten für die Datenhaltung, -verarbeitung und Kommunikation eingerichtet und erweitert. Die informationstechnische Grundlage für die dynamischen Netzebenen bildet im Wesentlichen ein relationales Datenbankmanagementsystem mit zwei verteilten Datenbankservern. In den Datenbanken werden neben den im Testfeld erfassten Verkehrs- und Umfelddaten die veredelten Daten der Verkehrslage und -prognose, der Umwelterfassung sowie die Strategien gespeichert.

Abb. 4: Systemarchitektur zur Datenintegration und Datenhaltung in den Testfeldern



Verkehrsdatenerfassung mit eXtended Floating Car Data (XFCD)

Im Unterschied zu Fahrerassistenzsystemen, bei der die im Fahrzeug durch Sensoren gewonnenen Informationen zur Unterstützung der autonomen Assistenzfunktionen dienen, setzt NIV die mobile Datenerfassung für die Gewinnung von Verkehrsinformationen ein, um das Routing zu unterstützen.

Der Schwerpunkt lag dabei auf der Verdichtung der vorliegenden XFCD-Rohdaten im Fahrzeug durch einen geeigneten Datenverarbeitungsprozess und der Entwicklung der erforderlichen Algorithmik. Diese ist als Software im Fahrzeug integriert, filtert aus den fahrzeuggenerierten Daten die aktuellen Verkehrs- und Umfeldsituationen des laufenden Verkehrsgeschehens heraus, meldet relevante Informationen direkt aus dem Fahrzeug und ermöglicht so eine bessere Versorgung der dynamischen Netzebenen.

Die benötigten Daten können über GSM-Kommunikation an eine XFCD-Empfangszentrale (Datenserver) gesendet werden, die die enthaltenen Informationen testfeldspezifisch weiterleiten. Die entwickelten Algorithmen sind fahrzeugherstellerübergreifend einsetz- und austauschbar.

Im Demonstrationsbetrieb zeigten die Projektpartner die XFCD-Verarbeitungskette: XFCD-Fahrzeuge erfassen in beiden Testfeldern verkehrsrelevante Daten und melden Informationen zur Verkehrslage. Die Ergebnisse sind im Internet auf einer Karte aktuell dargestellt. Neben Staus erkennen die Fahrzeuge dabei auch Warteschlangen an Lichtsignalanlagen (siehe Abb.5).

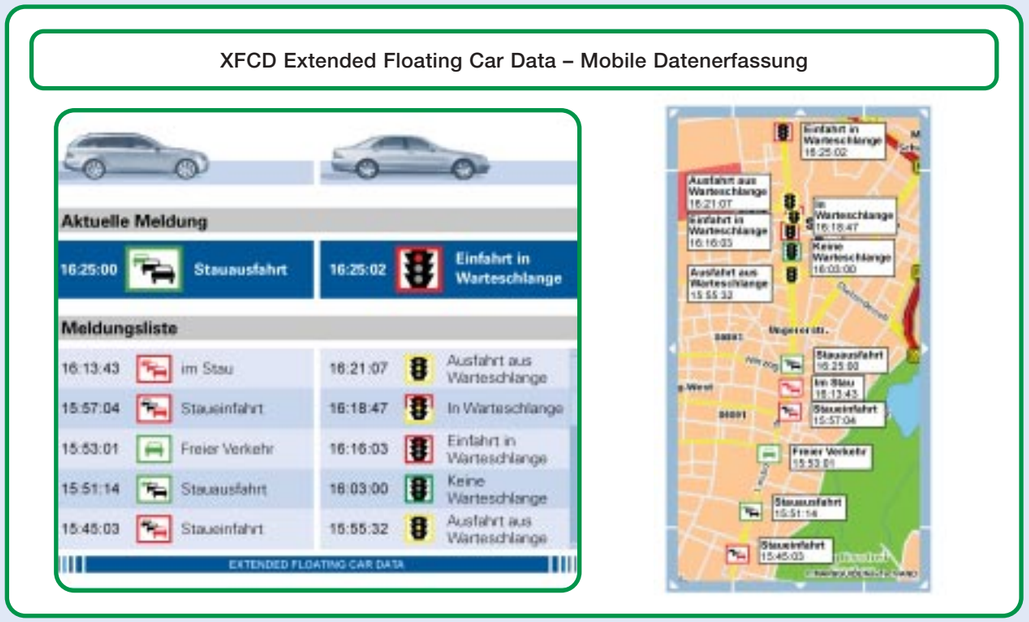


Abb. 5: Erfassung und Interpretation von XFCD-Ereignissen

Ermittlung der Verkehrslage, Verkehrsprognose, der Umweltlage und deren Fusionierung

Für das dynamische Routing ist die Kenntnis der aktuellen Verkehrslage, der Verkehrsprognose sowie der Umweltbedingungen, etwa Luftschadstoffe, wichtig. Im Teilprojekt NIV werden jeweils auf der Basis von punktuellen Verkehrsmessungen der Zustand auch auf den nicht ständig beobachteten Strecken des Netzes ermittelt und die kurzfristige Weiterentwicklung prognostiziert.

Im Mittelpunkt von Routenberechnungen steht als Aussagegröße die Reisegeschwindigkeit, weil sie für die nachgeschaltete Anwendung „Dynamisches Routing“ entscheidend ist. Hierfür berücksichtigte NIV das Zusammenspiel von Verkehrsnachfrage und Verkehrsangebot – also der Infrastruktur –, indem sie die Verkehrsmengen in allen Teilen des Netzes berechnet. Insgesamt setzen die Projektpartner fünf Verfahren ein, die sich aufgrund ihrer Eigenschaften sehr gut ergänzen (siehe Abb. 6):

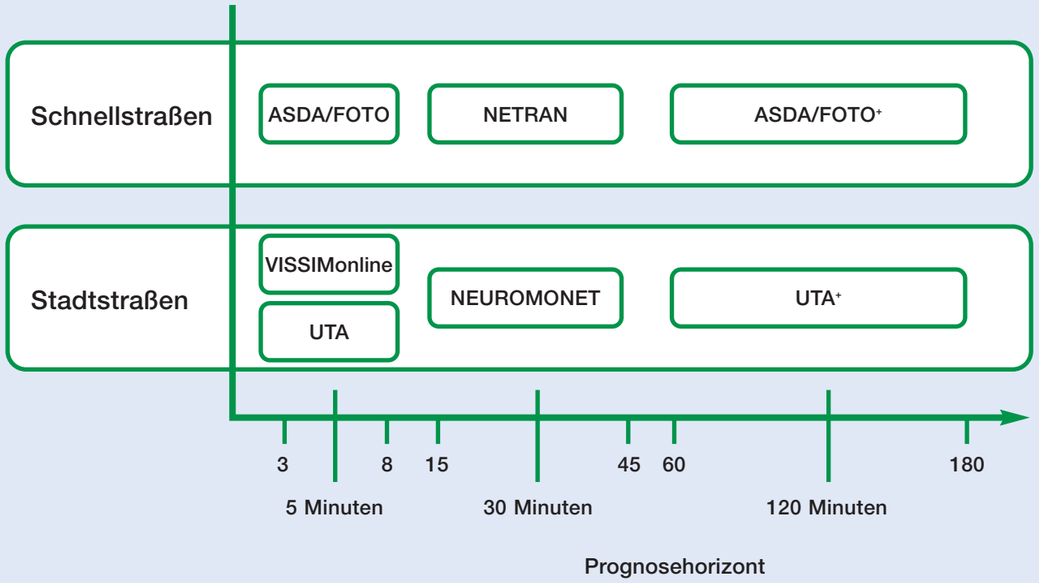
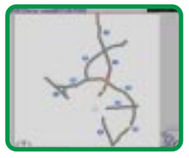


Abb. 6: Verfahren für die Berechnung der Verkehrslage und -prognose, sowie deren Prognosehorizonte



ASDA (Automatische Staudynamikanalyse) und **FOTO** (forecasting of traffic objects) führt eine Verfolgung zeitlich-räumlicher Verkehrsmuster durch. Unter Verwendung von historischen Informationen werden in ASDA/FOTO+ Prognosen mit einem Zeithorizont von bis zu 2 Stunden gerechnet. Die Testfelder Magdeburg und München bewiesen, dass alle Staumuster mit vergleichbarer Qualität in den verschiedenen Schnellstraßennetzen verfolgt und vorhergesagt werden konnten. Zu den Anwendungsstrecken in den Testfeldern gehört der gesamte Autobahnring um München und die Magdeburg umgebenden Autobahnen A2/A14 sowie die Schnellstraße durch die Stadt hindurch.

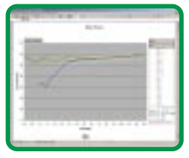
NETRAN dient zur Verkehrslagerekonstruktion und -prognose im Autobahnnetz des Testfelds München. Als Eingangsdaten dienen Verkehrsdaten von stationären Detektoren und archivierte Nachfrageganglinien. Das Programm berechnet minütlich die makroskopischen Verkehrsgrößen Verkehrsdichte, Verkehrsstärke und mittlere Geschwindigkeit in virtuellen Straßensegmenten von 200 Metern für den aktuellen Zeitpunkt und für die nächsten Stunden. Die Unschärfe der Prognose wird in Form einer Verteilung mitgeliefert. Zusätzlich enthält NETRAN einen Algorithmus zur Berechnung von Reisezeiten und deren Wahrscheinlichkeitsverteilungen für Routen innerhalb des betrachteten Autobahnnetzes.

NEUROMONET ist ein statisches bzw. dynamisches Routenwahl- und Verkehrsumlegungsmodell auf Basis von rekurrenten neuronalen Netzen. Diese beiden neuronalen Netzwerke kooperieren, wobei das erste Netzwerk (das Simulationsnetz) die Aufgabe hat, das reale Verkehrsgeschehen nachzubilden, während das zweite Netzwerk (das Fehlerpropagierungsnetz) freie Steuerungsparameter wie Verkehrsflussaufteilungen an Knoten entsprechend einer vorgegebenen Zielfunktion einstellt. NEUROMONET wurde zur Schätzung des aktuellen und zukünftigen Verkehrszustands im Testfeld Magdeburg installiert und erfolgreich getestet.

UTA (Urban Traffic Analysis) und UTA+ ermitteln im Testfeld Magdeburg dynamisch eine Verkehrsprognose unter Einbeziehung von Ganglinienprognosen. Zu dieser schnellen und effizienten, parameterarmen Verkehrsprognose bestimmt UTA kontinuierliche makroskopische Größen des Verkehrsnetzes, also effektive Kenngrößen eines Ballungsraumnetzes wie Warteschlangenlängen und Verkehrsflüsse, die oberhalb der Zykluszeiten der einzelnen Lichtsignalanlagen exakt sind und für Verkehrsmanagementmaßnahmen verwendet werden können.

VISSIMonline prognostiziert den Verkehrszustand in beiden Testfeldern mit einem mikroskopischen, also fahrzeugfeinen Ansatz. Als Eingangsgrößen dienen bei diesem Modell die Messdaten, die aus dem Testfeld geliefert werden und die aktuelle Verkehrsbelastung an den Messquerschnitten beschreiben. Neben der Kenntnis der aktuellen Belastung, also der aktuellen örtlichen Verteilung des Verkehrs im Netz, ist zumindest für die Prognose zusätzlich die Kenntnis der Routen erforderlich, auf denen sich der Verkehr bewegt. Hierzu wird parallel eine Schätzung der aktuellen Routenwahl aus den zur Verfügung stehenden Messwerten und eine Berechnung der Verkehrsbelastung und den daraus entstehenden Reisezeiten, Rückstaus etc. durchgeführt.

Eine neu entwickelte **Datenfusion** für die aktuelle Verkehrslage und die Verkehrsprognose erzeugt den für die Zielführung notwendigen Input: eine Ganglinie der Geschwindigkeit über die Zeit pro Streckenabschnitt.



TRANSFUSION ist eine Anwendung, die mittels Zeitreihenanalyse die Ergebnisse der unterschiedlichen Verfahren zur Verkehrslage- und -prognoseermittlung im Testfeld München fusioniert. Bei dieser Fusion bleiben die Eigenschaften der einzelnen Verfahren erhalten. Damit bleiben auch die einzelnen softwaretechnischen Module in ihrem Einsatzbereich überschaubar und können wie bisher gewartet und weiter entwickelt werden. Investitionen in Entwicklung, Tests und Anpassung sowie die daraus gewonnen Erfahrungen gehen nicht verloren; die funktionale Arbeitsteilung der Module bleibt strukturell bestehen.

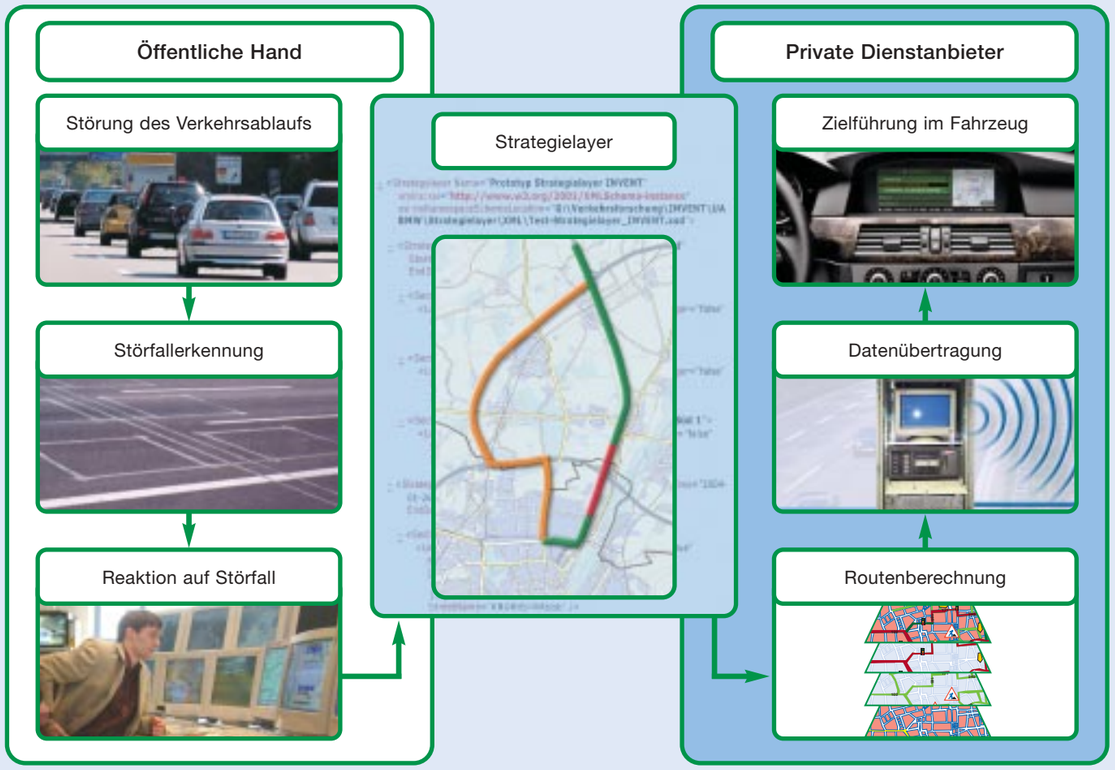
Neben der dynamischen Verkehrs- und **Umweltsituation** erfasst und verarbeitet das NIV-System auch die **Verkehrssicherheit**. Diese Daten werden jeweils in einer dynamischen Netzebene abgelegt.

Dynamische Umweltinformationen im Testfeld Magdeburg liefern ein aktuelles und möglichst umfassendes Bild der Umweltsituation im Straßennetz. Dazu werden verschiedene Datenquellen berücksichtigt, etwa Wetter-, Luftqualitäts- und Emissionsdaten aus Online-Messungen im fließenden Verkehr und durch stationäre Messungen und Simulationen ergänzt.
Zur Optimierung der individuellen Routenführung unter **Berücksichtigung von Verkehrssicherheitsaspekten** wird eine Quantifizierung der Grenzkostendichte der Verkehrssicherheit (= Risikoerhöhung pro zusätzliches Fahrzeug pro km einer Kante) unter Verwendung von Unfallraten je Kantentyp und weiterer dynamischer Attribute durchgeführt. Die effektive Reisezeit einer Kante ergibt sich dann aus der geschätzten Reisezeit der Verfahren und dem Zeitwert der Grenzkostendichte.

Einbindung von Verkehrsmanagementstrategien der Verkehrszentralen

Für wiederkehrende Großveranstaltungen und Störungen formulieren öffentliche Verwaltungen Umleitungsempfehlungen. Basis dieser Umleitungsempfehlungen sind verkehrstechnische Untersuchungen bzw. Simulationen mit geeigneten Verkehrsmodellen. Dadurch wird gewährleistet, dass Streckenzüge empfohlen werden, die in Sonderverkehrssituationen leistungsfähig genug sind, um zusätzliche Verkehrsströme aufzunehmen. Im Testfeld München wurde untersucht, wie sich von einem Routingalgorithmus berechnete Routen von Umleitungsempfehlungen der öffentlichen Hand unterscheiden. Dabei wurde gezeigt, dass sich die Ergebnisse der Routingsoftware weitgehend mit den öffentlichen Umleitungsempfehlungen decken. In NIV wurde ein Verfahren und die technischen Voraussetzungen entwickelt, um öffentliche Umleitungsempfehlungen für die Fahrzeugnavigation nutzbar zu machen. Somit haben private Dienstanbieter in Zukunft die Möglichkeit, kollektive Verkehrslenkungsstrategien bei der Erstellung ihrer Routenempfehlungen mit einzubeziehen (siehe Abb. 7).

Abb. 7: Zusammenspiel Öffentliche Hand und private Dienstleister



Die Münchner Blade-Night demonstriert die Wirkung von Informationen aus dem Verkehrsmanagement eindrucksvoll:
20.000 Inline-Skater blockieren für zwei Stunden wichtige Verbindungen des Münchner Hauptstraßennetzes. In dieser Zeit sind ganze Stadtbezirke nur schwer erreichbar, die zahlreichen Streckensperrungen können von heute gängigen Navigationsgeräten nicht berücksichtigt werden. Durch die technische Aufbereitung der verkehrlichen Auswirkungen dieser Veranstaltung und die zeitgerechte Informationsweitergabe ist das NIV-Navigationsgerät in der Lage auch diese kurzfristige Änderung der Verkehrssituation zu berücksichtigen. Der Fahrer wird gezielt über die zur Verfügung stehenden freien Strecken geführt und meidet dadurch gestörte Abschnitte.

Zur Veranschaulichung sind die aufgrund der Blade Night gesperrten Straßen in Abb. 8 magentafarben dargestellt. Die Route im linken Bild (blau) wurde von einem herkömmlichen Navigationsgerät berechnet. Bereits nach dem zweiten Abiegevorgang würde dieser Fahrer vor einer Streckensperrung zum Stehen kommen. Die Route im rechten Bild (blau) wurde unter Berücksichtigung der Informationen aus der Verkehrsmanagementzentrale berechnet. Sie führt in Tunnellage unter den gesperrten Streckenzügen hindurch.

Abb. 8: Blade Night im Testfeld München

Baustellen und Umleitungen haben einen großen Einfluss auf die Verkehrssituation. Im Testfeld Magdeburg wurde ein web-basiertes Werkzeug entworfen und implementiert, das die komfortable, kartengestützte Verwaltung von tagesaktuellen Baustellen und Störungen direkt durch die zuständigen Mitarbeiter im Tiefbau- und Stadtplanungsamt der LH Magdeburg ermöglicht. Die Referenzierungsgrundlage bildet die gemeinsame digitale Karte, so dass eine direkte Übernahme der eingepflegten Baustellen in die dynamische Netzebene „Strategie“ der Navigation möglich ist. Weiterhin werden die erfassten Daten in einer Baustellenkarte im Internet und über die erweiterten Verkehrsmeldungen XTM (eXtended Traffic Message) des Routings in geeigneten Fahrzeugendgeräten dargestellt. Die Übertragung kann hierbei optional über den Digitalen Rundfunk oder über Mobilfunknetze (GSM, GPRS) erfolgen.

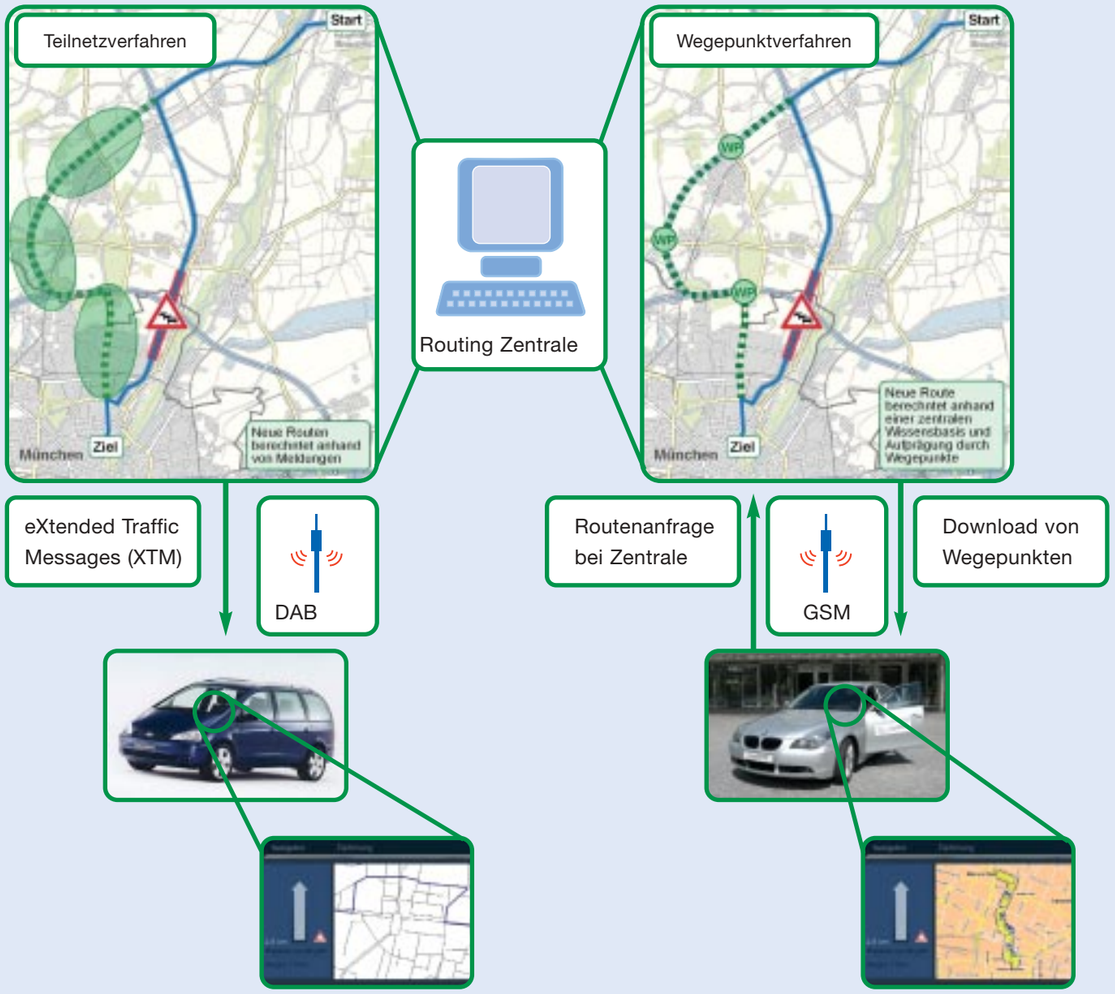
Zur zukünftigen Unterstützung des Verkehrsmanagements der öffentlichen Hand wurden neuartige theoretische Ansätze für die Strategiekonzeption entwickelt und modellhaft simuliert. Dieses Konzept sieht vor Fahrzeugströme an Kreuzungen mit kollektiv wirksamen Instrumenten entsprechend den vorab berechneten abgestuften Maßnahmen zu lenken. Durch die zeitnahe Berechnung neuer Fahrtrouten für mit Navigationsgeräten ausgestatteten Fahrzeugen, denen die Information über Zeitpunkt und Ort der Maßnahmen vorliegen, können diese die kritischen Kreuzungen frühzeitig entlasten. Durch Berücksichtigung derartiger Reaktionen bei der Berechnung kann die öffentlichen Hand die kollektiven Instrumente in Zukunft feiner abstimmen und die Maßnahmen moderater ausführen.

Routing Zentrale und Kommunikation

Die **Routing Zentrale** konsolidiert und veredelt alle für ein Routing relevanten Informationen. Es werden dynamische Netzebenen generiert (siehe Abb. 1), die als Grundlage für eine nach verkehrlichen und strategischen Gesichtspunkten optimierte Routenberechnung dienen. Im Projekt NIV wurden hierzu zwei sich ergänzende Verfahren entwickelt, das **Teilnetzverfahren** und das **Wegepunktverfahren**, welche in den beiden Testfeldern Magdeburg und München umgesetzt und validiert wurden.

In beiden Verfahren wird die fahrzeugeigene Navigation (onboard) mit zusätzlichen Informationen aus der Routing Zentrale versorgt. Das Teilnetzverfahren nutzt dabei die Einwegdatenübertragung durch digitalen Hörfunk (DAB), das Wegepunktverfahren eine Zweiwegverbindung per Mobilfunk (GSM) (siehe Abb. 9).

Abb. 9: Routing Zentrale und Kommunikation



Bei den individuellen Routenempfehlungen ist zu beachten, dass alle Informationen lediglich eine unverbindliche Empfehlung gegenüber dem Nutzer darstellen und diesem keine Verpflichtung zur Befolgung obliegt. Daher haben die Projektpartner über die technische Realisierung der Routenberechnung und Datenübertragung hinaus Verfahren entwickelt, die dem Nutzer die empfohlene Route begründen und ihn damit vom Vorteil im Vergleich zur erwarteten Route überzeugen.

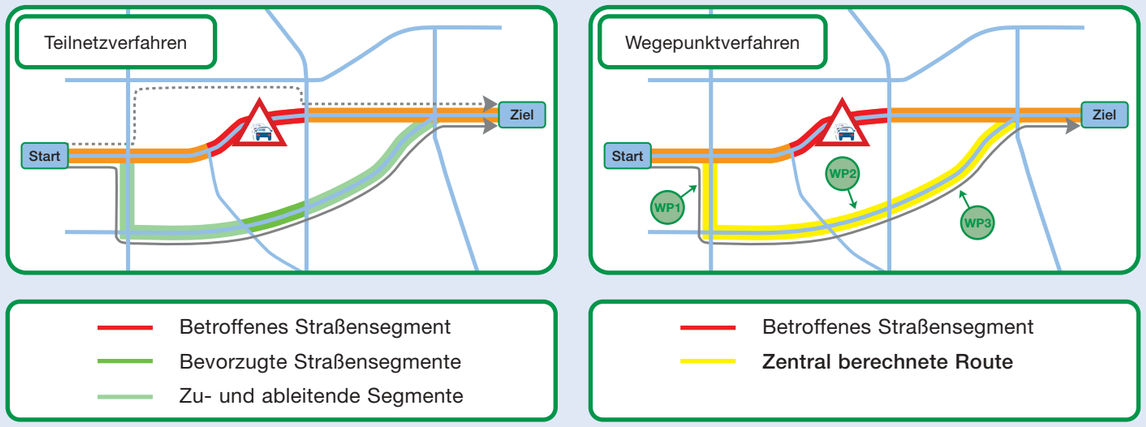
Beim **Teilnetzverfahren** vernetzt ein zentraler Server die Informationen für die Routenempfehlung und setzt sie in eine erweiterte Verkehrsinformation um, die auch Fahrtzeiten und spezifische Alternativrouten einschließt, eine so genannte eXtended Traffic Message (XTM), (siehe Abb. 10). Diese erweiterten, auf ein bestimmtes Gebiet beschränkten Informationen über die Verkehrslage werden an das Navigationssystem des Fahrzeugs per DAB übertragen. Die Berechnung der gesamten Route erfolgt unter Berücksichtigung der XTMs direkt im Fahrzeug.

Beim **Wegepunktverfahren** übermittelt der Verkehrsteilnehmer seinen Standort und sein Ziel mittels Mobilfunkverbindung (GSM) an einen zentralen Rechner. Dieser berechnet unter Berücksichtigung aller vorliegenden Verkehrsnetzinformationen eine individuelle Routenempfehlung in Form einer Wegepunktliste (siehe Abb. 10). Diese Liste sendet er an das Navigationsgerät zurück. Zwischen den definierten Wegepunkten ermittelt das Fahrzeug dann selbst die beste Route.

Beide Verfahren arbeiten sowohl unabhängig voneinander als auch im Zusammenspiel. Für beide Verfahren entwickelten die Partner individuelle Navigationsgeräte und integrierten sie in Fahrzeuge unterschiedlicher Hersteller. Darüber hinaus wurde ein ergänzendes Verfahren zur Übertragung von digitalen Kartensegmenten in das Fahrzeug entwickelt.

Die Inbetriebnahme und Tests in den beiden Testfeldern verliefen bei beiden Verfahren erfolgreich. Neben den in die Demonstratoren integrierten Navigationsgeräten stellen die Projektpartner den gesamten Navigationsdienst auch über Internet zur Verfügung.

Abb. 10: Teilnetz- und Wegepunktverfahren



Feldversuche in den Testfeldern München und Magdeburg

Wesentliches Ziel der Feldversuche war die Überprüfung und Beurteilung der Einsatzfähigkeit der neuen Systeme für den Echtzeitbetrieb. Dabei wurde die gesamte Verarbeitungskette betrachtet:

- Zunächst wurde die Funktions- und Leistungsfähigkeit der datentechnischen Systeme geprüft.
- Darauf aufbauend wurde die Verbesserung der Kenntnis über die Verkehrslage, die aus der Einbeziehung dynamischer Daten und der Verarbeitung mit neuen Verkehrsmodellen entsteht, analysiert.
- Das verkehrliche Potenzial in den Testnetzen, das sich aufgrund der laufenden Veränderungen von Verkehrsbelastung und Reisezeiten ergibt, wurde untersucht.
- Schließlich wurde die Qualität der resultierenden Navigationsempfehlung beurteilt.

Die **Feldversuche** in München und Magdeburg über jeweils zwei Monate vom 1. Dezember 2004 bis 31. März 2005 haben sowohl auf technisch-funktionaler als auch auf inhaltlicher Ebene den Nachweis erbracht, dass die intelligente Kopplung von fahrzeug- und infrastrukturgestützten Systemen und die Integration von Verkehrsmanagementstrategien der Verkehrszentralen technisch möglich ist und so ein verbessertes dynamisches Routing erreicht werden kann.

Bei der **Bewertung der technischen Funktions- und Leistungsfähigkeit** wurde die gesamte Wertschöpfungskette von der Datenerfassung bis zum Routing einbezogen. Hierbei wurde insbesondere die Übermittlung (Import und Export über XML- Schnittstellen und Webservice) und die Verwaltung und Bereitstellung der Rohdaten (Detektion), der berechneten Ergebnisse der Verkehrslage und -prognose, sowie der konsolidierten Daten (Reisezeitganglinie der Datenfusion) betrachtet.

Umfangreiche **Befahrungen** vervollständigen die Ermittlung der verkehrlichen Wirkungen, die sich durch das Routing unter Aktivierung der verschiedenen dynamischen Netzebenen ergeben. In München wurden in 235 Befahrungsstunden über 11.000 Streckenkilometer zurückgelegt und die Fahrzeugbewegungen dabei sekündlich aufgezeichnet. Durch die Einbeziehung des „Weihnachtsverkehrs“ und schlechter Witterungsbedingungen (Nebel, Schneefall) konnten die Veränderungen in den Reisezeiten auf Kanten, Streckenabschnitten und Routen und der Auswirkungen auf das Routing gezeigt werden.

Für ausgewählte Relationen wurden mit mehreren Fahrzeugen Befahrungen auf unterschiedlichen Routen durchgeführt und detailliert aufgezeichnet. Diese Messfahrten lieferten Hinweise auf die tatsächlich auftretenden **dynamischen Änderungen der Reisezeiten** in den einzelnen Bereichen des Verkehrsnetzes und damit auf die Änderung der Rangfolge der schnellsten Routen. In Abb. 11 sind beispielhaft die Reisezeiten auf verschiedenen Routen zu unterschiedlichen Zeitpunkten zwischen der Messe und dem Flughafen in München dargestellt. Die erheblichen Reiszeitvarianzen auf der Normal- und den Alternativrouten konnten so nachgewiesen werden und das neue **INVENT-Wegepunktverfahren** seine Stärke und seinen Nutzen unter Beweis stellen.

Aus den Befahrungsdaten konnten aber nicht nur Rückschlüsse auf die Relevanz einer dynamisch angepassten Reisezeitschätzung für die Navigation abgeleitet werden, sondern auch Aussagen zur Häufigkeit ungleicher **Netzauslastungen** und damit Aussagen über verkehrlicher Potenziale in den Testfeldern getroffen werden.

Abb. 11: Befahrung im Testfeld München

Zusammenfassung und Ausblick

Die individuellen Bedürfnisse des Fahrers werden in Zukunft im Vordergrund stehen. Auf seine speziellen Wünsche und Bedürfnisse lässt sich die Routenführung genau abstimmen. Der Fahrer muss sich lediglich entscheiden, welche Priorität Kriterien wie Reisezeit, Sicherheit oder Umwelt für ihn haben.

Im Rahmen von INVENT hat das Teilprojekt NIV neue Zielführungssysteme entwickelt, die auch als dritte Generation von Navigationssystemen bezeichnet werden. Sie basieren auf dem Zusammenspiel zwischen dem Bordnavigationssystem des Fahrzeugs und einem zentralen Informationsdienst inklusive der öffentlichen Verkehrslenkungsstrategie. Mit diesen Zielführungssystemen lassen sich mehrere Kriterien simultan verarbeiten und Vorgaben eines strategischen Verkehrsmanagements mit einbeziehen.

Feldversuche in den Testfeldern München und Magdeburg über jeweils zwei Monate von 1. Dezember 2004 bis 31. März 2005 zeigten:

- Der Aufbau der technischen Systemarchitektur zur Datenintegration und Datenhaltung unter Einbeziehung bestehender und neuer Infrastruktur war erfolgreich, ein kontinuierlicher Datenstrom konnte gewährleistet werden.
- Die Berechnung der Routing Zentrale von Routenempfehlungen und deren Übermittlung in die Navigationssysteme durch die beiden unterschiedlichen Übertragungsansätze des Wegepunktverfahrens (GSM) und des Teilnetzverfahrens (DAB) waren erfolgreich. Der Einsatz des Wegepunktverfahrens im Fahrzeug steht in den nächsten 2 - 3 Jahren in Aussicht.
- Die Einbindung von Verkehrsmanagementstrategien der Verkehrszentralen und von kurz-, mittel, und langfristigen Änderungen der Verkehrssituation im dynamischen Routing ist erfolgt. Verkehrsteilnehmer werden gezielt über die zur Verfügung stehenden freien Strecken geführt, und so die individuelle Reisezeit verkürzt und der Verkehrsfluss verbessert.
- Die Datenfusion ermittelte eine Geschwindigkeitsganglinie über die Zeit pro Streckenabschnitt aus den Berechnungsergebnissen der Verkehrslage und -prognose kontinuierlich für alle Bereiche der Untersuchungsnetze.
- Die weiter entwickelten Verfahren zur Ermittlung der Verkehrslage und -prognose sowie der Umweltlage mit unterschiedlichen räumlichen Bezügen und unterschiedlichen Prognosehorizonten lieferten kontinuierlich gute Ergebnisse, und dies sowohl für den innerstädtischen als auch den Außerorts-Bereich der Untersuchungsnetze.
- XFCD-Daten ermöglichen eine bessere Darstellung der Verkehrslage und werden über GSM-Kommunikation an eine XFCD-Empfangszentrale gesendet, die die enthaltenen Informationen testfeldspezifisch weiterleiten. Daneben wurde ein herstellerübergreifender Datenaustausch eingerichtet.

Die im Teilprojekt NIV erarbeiteten Ansätze zu den hybriden Navigationsverfahren werden von den beteiligten Partnern im Hinblick auf einen späteren Serieneinsatz im Fahrzeug weiter entwickelt und optimiert. Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse werden direkten Einfluss auf die Entwicklung und Integration von zukünftigen Fahrzeugnavigationssystemen haben.

Infolge der hohen technischen Innovationsdynamik in der Fahrzeugelektronik und Fahrzeuginformationstechnik werden in Zukunft größere Mengen von Daten im Fahrzeug erfasst, vorgehalten und insbesondere situativ verarbeitet werden können. Das Fahrzeug wird sich von einer reinen Datensenke (Empfänger) weiter zunehmend zu einer Datenquelle (Sender bzw. Aktuator) entwickeln und damit aktiver Partner des Verkehrsmanagements werden. Die zunehmende Vernetzung der Verkehrsinfrastruktur sowie der Aufbau von integrierten zentralseitigen Rechner- und Managementzentralen bietet zudem auch auf der Seite der Infrastrukturbetreiber die Möglichkeit, einen aktiven Part im Rahmen der angestrebten Kooperation einzunehmen.

Verkehrsmanagement in Transport und Logistik – VMTL

Projektpartner

DaimlerChrysler AG
Ericsson GmbH
Hermes Logistik GmbH & Co. KG
IBM Deutschland GmbH
PTV Planung Transport Verkehr AG

Zusammenfassung

Der zunehmende Warenwirtschaftsverkehr in unseren Innenstädten bereitet mehr und mehr Probleme. Grund hierfür sind insbesondere die wachsenden e-Commerce Aktivitäten, welche Transport- und Logistikdienstleister vor ständig größere Herausforderungen stellen.

Abhilfe schaffen neuartige Informations- und Kommunikations- technologien, wie sie von VMTL zur Entwicklung und Realisierung innovativer Konzepte eingesetzt werden. Diese tragen zu einer effizienteren Warenzustellung und -abholung auf der „Letzten Meile“ bei und somit zu einer nachhaltigen Verkehrsentwicklung in unseren Städten.

Schnell, flexibel, effizient – und umweltschonend

Das im INVENT-Teilprojekt VMTL realisierte und demonstrierte Gesamtsystem besteht aus einer wohldefinierten Architektur mit einer Reihe spezialisierter Komponenten. Durch intelligente Nutzung und Neugestaltung vorhandener Logistik- und Informationsinfrastrukturen tragen diese zu einer effizienteren, empfängerfreundlicheren und bedarfsgerechteren Steuerung des Warenverkehrs und damit zu einer aktiven Reduzierung des Verkehrs und der Umweltemissionen in Ballungsgebieten bei. Sie ermöglichen es dem Logistikdienstleister, seinen Kunden aus der Tourenplanung heraus genaue Lieferzeitfester mitzuteilen und dabei die Lieferpräferenzen der Kunden voll zu berücksichtigen. Dabei beschränkt sich die Kommunikation mit den Kunden auf ein sinnvolles, kostengünstiges Maß. Weiterhin wird der Zusteller vor und während der Auslieferungstour optimal unterstützt, indem auf unvorhersehbare Ereignisse wie Verkehrsstaus, Straßensperrungen, aber auch zusätzliche Abholaufträge flexibel und dynamisch in Form von Touränderungen reagiert wird.
In Tests und Analysen zeigte sich bereits, dass das implementierte VMTL-System zwei große Vorteile hat: Es verbessert den Service für den Kunden und die Anzahl der gefahrenen Kilometer wird gleichzeitig auf das notwendige Maß beschränkt, das heißt der Straßenverkehr wird entlastet.

Die praxisnahe und bedarfsgerechte Ausrichtung des Projektes wurde durch die Bildung eines zielorientierten Projektkonsortiums sichergestellt. Die Projektpartner DaimlerChrysler AG, Ericsson GmbH, Hermes Logistik GmbH & Co. KG, IBM Deutschland GmbH und PTV Planung Transport Verkehr AG decken alle notwendigen Know-how-Bereiche (Logistikdienstleistungen, Planung von logistischen Prozessen, Herstellung von Nutzfahrzeugen, Informationsverarbeitung und Kommunikationstechnik) mit entsprechender Sachkompetenz ab.

Zielsetzung

Ausgangslage

Bis zu vierzig Prozent betrug der Anteil des Wirtschaftsverkehrs am Gesamtverkehr in Ballungsräumen bereits zu Beginn des Projekts. Der Zuliefer- und Abholverkehr auf der sogenannten „letzten Meile“ hat hieran einen nicht unerheblichen Anteil. Diese Situation hat sich in der Zwischenzeit sogar noch verstärkt. Das liegt unter anderem am gestiegenen Interesse, Waren beim Versandhaus oder über das Internet zu bestellen. Doch mit der Bestellung ist es nicht getan: Die Ware muss zugestellt werden. Wird der Kunde nicht zu Hause angetroffen, so werden weitere Zustellversuche unternommen. Nach erfolgreicher Übergabe gefällt die Ware vielleicht nicht und geht wieder zurück an ihren Ausgangsort. Das alles führt zu mehr Verkehr auf der Straße. Und so wird die Kapazität der Infrastruktur zunehmend beansprucht. Die Fahrleistung erhöht sich, und somit auch der Fahrzeugbedarf.

Daraus ergibt sich auch für die Logistikdienstleister die Notwendigkeit, die Warenauslieferung zu optimieren, indem z.B. erfolglose Zustellfahrten reduziert werden.
Um den genannten Herausforderungen begegnen zu können, müssen Möglichkeiten für die Optimierung des gesamten Tourenplanungs- und Zustellprozesses gesucht und technische Lösungen für verschiedenste Bereiche innerhalb dieses Prozesses entwickelt werden. Probleme, die die Ausgangslage charakterisieren, sind:

- Bereich Verkehr: Verkehrssituationen wie Rush-Hour, Baustellen, Stau, etc. konnten weder in der Tourenplanung berücksichtigt werden, noch konnte der Zusteller zeitnah und dynamisch während seiner laufenden Tour hierbei unterstützt werden.
- Bereich Zustellerunterstützung: Die Zusteller konnten nach Verlassen des Depots nur schwer aktiv unterstützt werden, wenn z.B. zusätzliche Abholaufträge durchzuführen oder kundenspezifische Wünsche zu berücksichtigen waren. Auch eine Hilfestellung zur Durchführung einer möglichst effizienten Tour konnte nicht gegeben werden.
- Bereich Kundeninformation und -präferenz: Die Kommunikationsmöglichkeiten, die einem Logistikdienstleister zur Verfügung standen, um einen Kunden über eine bevorstehende Zustellung zu unterrichten, waren sehr limitiert. Auch war es nicht möglich, alternative Lieferorte neben der Wohnungsanschrift des Kunden in der Zustellplanung zu berücksichtigen. Dies führte zwangsläufig zu häufigen Fehlversuchen, den Kunden anzutreffen.
- Bereich Prozessgestaltung: Die bestehenden Logistikprozesse wiesen nur eine eingeschränkte Flexibilität für die Einführung neuer Logistikdienstleistungen auf, d.h. eine sehr flexible Reaktion auf neue Wünsche seitens der Kunden oder auch auf Änderungen der Struktur seitens des Logistikdienstleisters war nicht möglich.

Vision

Um diese rein technische Sicht auch anhand einer möglichen „Zukunftspraxis“ zu überprüfen, wurde ein Anwendungsszenario entworfen:

Bei der Warenbestellung gibt der Kunde zunächst an, zu welcher Zeit er an welchem Ort erreichbar sein wird – etwa vormittags im Büro oder abends bei Freunden. Möglicherweise gibt es aber auch Alternativen zu diesen konventionellen Lieferorten und das bestellte Päckchen soll direkt in den Kofferraum des eigenen PKW oder bei einem günstig gelegenen PaketShop, also an einem sogenannten alternativen Lieferort, zugestellt werden. Am Vorabend der Auslieferung plant das VMTL-System die Touren unter Berücksichtigung dieser Kundenangaben sowie der für den Zustelltag prognostizierten Verkehrslage im Zustellgebiet. Das VMTL-System informiert nun den Kunden, wann und wo am nächsten Tag sein Päckchen ausgeliefert werden wird. Am Tag der Auslieferung wird ständig verfolgt, wo sich die Lieferfahrzeuge befinden und unter Berücksichtigung aktueller Verkehrsinformationen wird der Verlauf der Touren berechnet. Kurzfristige Änderungen wie eingehende Neuaufträge oder Lieferort- bzw. Lieferzeitänderungen seitens der Kunden werden – genauso wie Stausituationen – berücksichtigt. Falls sich gravierende Änderungen an der geplanten Tour ergeben, werden die betroffenen Kunden rechtzeitig informiert und der Zusteller bekommt die entsprechende Touränderung direkt übermittelt.

Die nun mögliche Unterstützung der Zusteller geht jedoch noch wesentlich weiter: Um nicht beim Logistikdienstleister angestellte Zusteller unter Berücksichtigung ihrer individuellen Hardwarevoraussetzungen, flexibel in die verbesserten Informationsflüsse integrieren zu können, wird die für die jeweilige Endgerätehardware benötigte Software nun vom Device Management zentral verwaltet. Somit stehen immer die aktuellsten Anwendungen zur Verfügung. Um die notwendigen Sicherheitsanforderungen einzuhalten, sind zudem personalisierte Zugriffsrechte Bestandteil der Entwicklungen. Eine weitere Neuerung ist die Möglichkeit der Nahbereichszielführung und Kofferraumzustellung, die nun als Funktion der mobilen Endgeräte vorliegt. Hierbei wird zunächst das Fahrzeug geortet, dann wird der Zusteller hin zum Fahrzeug navigiert, und schließlich kann der Zusteller den Kofferraum mit seinem Endgerät öffnen und das Paket zustellen.

Übersicht und Ergebnisse

Basis

Flexibel und innovativ – das war das Ziel des neuen Systems. Aufgrund der vielen verschiedenen Komponenten und der Komplexität der Zustellsituation haben sich die VMTL-Partner für eine modulare Architektur entschieden.
So ist zum einen die verteilte und unabhängige Implementierung der funktionalen Komponenten möglich. Zum anderen aber auch eine leichte Integration der verschiedenen Komponenten zur Gesamtlösung. Außerdem kann eine solche Architektur jederzeit erweitert werden.

Dieses Konzept der modularen Systemarchitektur ist für die Entwicklung der Lösungen unter Betrachtung von zwei verschiedenen Zeithorizonten („Szenario 2005“ und einem darauf aufbauenden „Szenario 2010“) genutzt, erfolgreich getestet und demonstriert worden. Das VMTL-Projekt hatte dabei folgende Schwerpunkte:

Systemarchitektur: Beschreibung der einzelnen Komponenten der VMTL-Lösung und ihrer Interaktionen.

Mobile Kommunikation und Device Management: Verbesserung der Informationsflüsse und Einsatz moderner Kommunikationsmöglichkeiten bei der Zustellerunterstützung sowie bei der Einbindung der Kunden in den Planungs- und Zustellablauf.

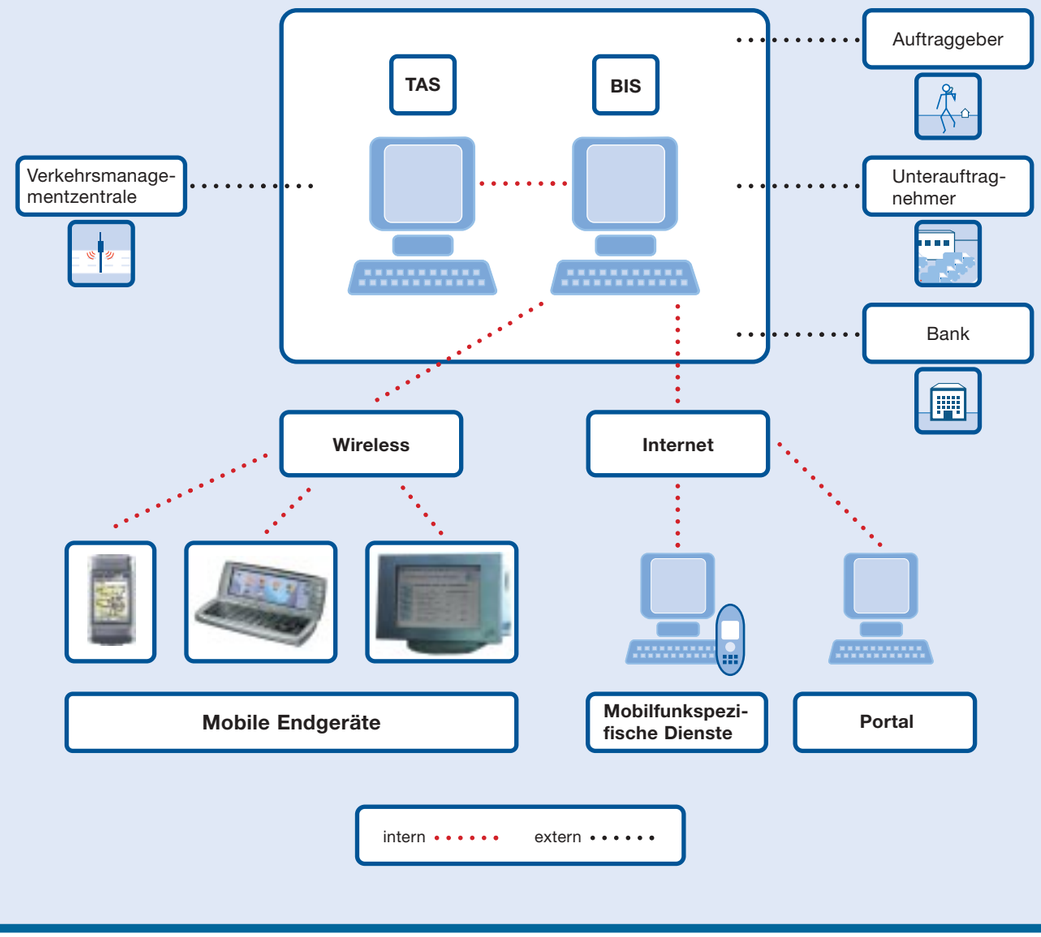
Tourenplanung und –steuerung: Planungs- und Steuerungswerkzeuge ermöglichen die Berücksichtigung von Verkehrsinformationen oder Lieferort- und Lieferzeitpräferenzen der Kunden bereits in der Planungsphase der Zustelltouren, sorgen somit für eine Verringerung von Fehlfahrten und verbessern die Planungssicherheit. Auch berücksichtigen sie unvorhergesehene Ereignisse während der Auslieferungstouren.

Nutzerakzeptanz und Wirkungsbetrachtung: Auswirkungen der VMTL-Lösungen bei einem „breiten“ Einsatz in Zustell- und Abholdienstleistungen in Ballungszentren („Letzte Meile“). Außerdem erfolgte eine Wirkungsbetrachtung der VMTL-Lösungsansätze für den Logistik-Dienstleister und hier insbesondere die Darstellung der Fahrleistungen, des Fahrzeugbedarfs und der zukünftigen Fahrzeuganforderungen.

Systemarchitektur

Um die vielen gewünschten Einzelfunktionen und -komponenten logisch und funktional zu verknüpfen, wurde eine übergreifende Architektur entwickelt. Die Hauptanforderung an die Systemarchitektur lag dabei in der Integration zahlreicher Dienste, die in Zusammenarbeit die Logistikdienstleistung erbringen sollten. Hinzu kam die Notwendigkeit, die für die Erbringung der Dienstleistung erforderlichen Daten rechtzeitig zur Verfügung zu stellen. Die nachfolgende Abbildung vermittelt einen schematischen Überblick über das Gesamtsystem.

Abb. 1: Überblick über das VMTL-Gesamtsystem



Die einzelnen Komponenten:

Der Business Integration Server (BIS) ist das zentrale Element innerhalb der Architektur. Seine Hauptfunktionen sind die Kontrolle und Steuerung des beim Ausliefer- bzw. Einsammelvorgangs anfallenden Workflows. Dies kommt insbesondere durch seine direkten Verbindungen zu den Komponenten Transport Application Server (TAS), Mobilfunkspezifische Dienste und Portal zum Ausdruck. Außerdem koppelt der BIS die VMTL-Domäne mit der „externen Umgebung“ (Auftraggeber, Banken, Unterauftragnehmer des Logistikdienstleisters, weitere IT-Infrastruktur des Logistikdienstleisters).

Der Transport Application Server (TAS) integriert alle direkt mit der Transportplanung und Transportdurchführung befassten Anwendungen und Dienste. Die beiden Hauptanwendungen im TAS sind die Tourenplanung und die Tourensteuerung mit Aktual-Disposition. Weiterhin erfolgt über den TAS die Anbindung der Verkehrsmanagementzentrale.

Der Server für mobilfunkspezifische Dienste umfasst aus architektureller Sicht physikalische Komponenten mit Diensten, die nicht direkt beim Logistikdienstleister erbracht werden, die aber wesentlich für die Realisierung der in den Szenarien berücksichtigten Use Cases sind. Dies sind der Benachrichtigungsdienst, der Profildienst und der Ortsinformationsdienst.

Das Portal bildet die zentrale Schnittstelle zum Kunden. Über diese Schnittstelle wird dem Besteller/Empfänger die Möglichkeit geboten, Änderungen der Kundendaten vorzunehmen, Retouren beim Logistikdienstleister anzumelden, private Transportaufträge zu initiieren, Trackinginformation zu einer an ihn gerichteten Sendung abzufragen und auf ihn bezogene Nutzerprofildaten zu erstellen bzw. zu ändern.

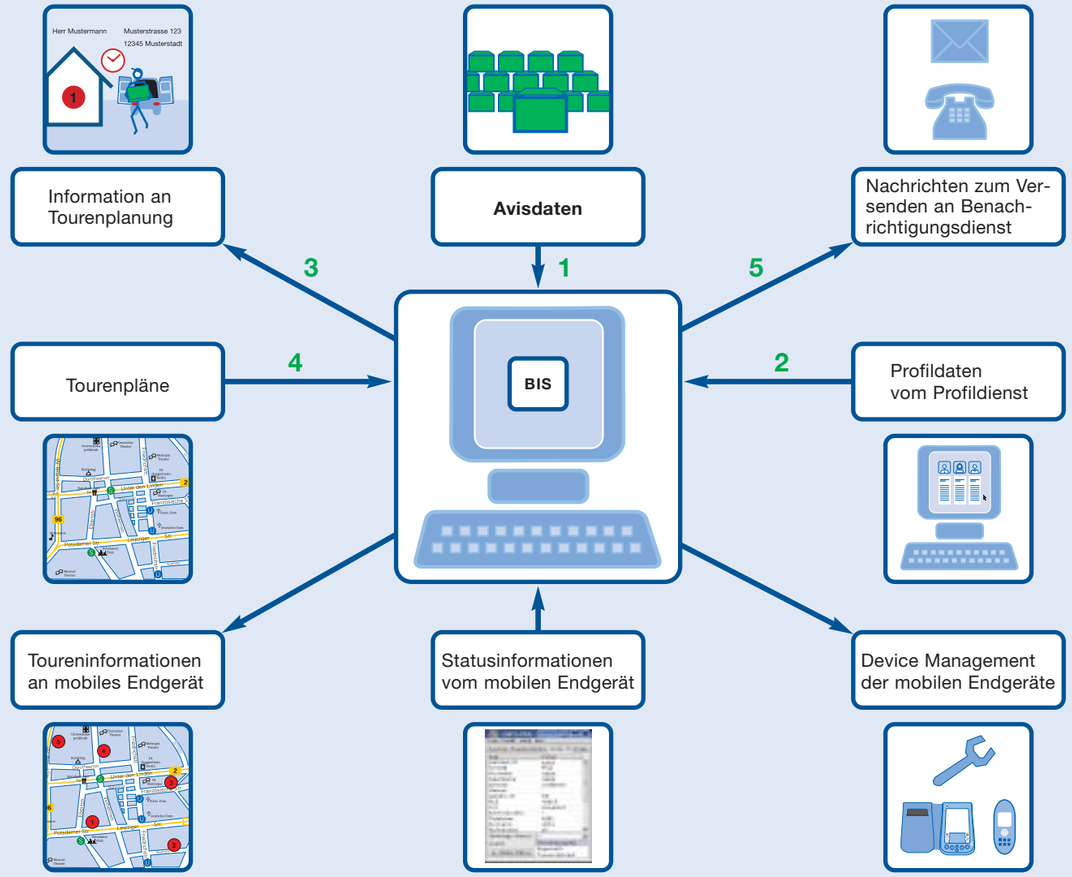
Die mobilen Endgeräte bilden entweder einzeln oder in enger Kooperation miteinander die Schnittstelle zwischen Zusteller und Logistikdienstleister. Das heißt, Zielführung und Auftragsabarbeitung/Zustellerunterstützung fallen in den Verantwortungsbereich dieser Komponenten. Es können verschiedene Klassen von mobilen Endgeräten unterschieden werden: Persönliche digitale Assistenten (PDAs), Bordcomputer (OBUs) und zunehmend leistungsfähige Mobiltelefone, sogenannte SmartPhones.

Die Web Services ermöglichen die Kommunikation zwischen den oben genannten Architekturkomponenten. Sie bieten einen standardisierten Ansatz, um die Schnittstellen, über die auf die jeweiligen Dienste zugegriffen wird, von den Implementierungsdetails in einer Web-basierten verteilten IT-Umgebung zu trennen. Durch die Entkopplung von Schnittstelle und Implementierung ist es möglich, Systeme zu entwickeln, die während des Betriebs dynamisch aufgesetzt und rekonfiguriert werden können. Die Schnittstellen von Komponenten müssen den wichtigen Industriestandards entsprechen, damit Hersteller Komponenten erstellen können, die in jeder Infrastruktur einsetzbar sind. Zur Beschreibung der Eigenschaften der Web-Service Schnittstelle wurde die Web Service Description Language (WSDL) eingesetzt. Der Grund ist die Gewährleistung von Interoperabilität zwischen Diensten, die auf verschiedenen Plattform-Architekturen implementiert und betrieben werden.
Durch die Designentscheidung, die Zugriffe auf die Dienste über Web-Service Schnittstellen zu realisieren, wurde eine grundlegende Voraussetzung für eine Service Orientierte Architektur (SOA) geschaffen. So kann die Wiederverwendbarkeit von IT-Komponenten erhöht und damit letztendlich die IT-Kosten gesenkt werden.

Beispiel für eine Vorabenddisposition

Zur Veranschaulichung der Funktionsabläufe innerhalb der VMTL-Architektur gibt die nachfolgende Abbildung als Beispiel den für die Vorabenddisposition charakteristischen Workflow wieder.
In Schritt 1 werden die Avisdaten in den BIS übernommen und in einer für die weitere Verarbeitung geeigneten Form in einer Datenbank abgelegt. Schritt 2 wird ausgeführt, falls Informationen in den Avisdaten fehlen bzw. fehlerhaft sind – eine entsprechende Informationsanforderung wird an den Profildienst abgesetzt. Sobald alle Informationen in der für die Tourenplanung erforderlichen Form vorliegen, werden diese im Schritt 3 an die Tourenplanung (TAS) übergeben. Nach erfolgreicher Erstellung der Tour informiert die Tourenplanung den BIS darüber, dass die Tourinformationen zum Abruf bereitstehen. Der Abruf der Tourenpläne erfolgt in Schritt 4. Der BIS entnimmt den Tourenplänen die ermittelte erwartete Ankunftszeit (ETA) und initiiert im Schritt 5 über den Benachrichtigungsdienst die Benachrichtigung der Warenempfänger über den geplanten Auslieferzeitpunkt in Form eines Lieferzeitfensters.

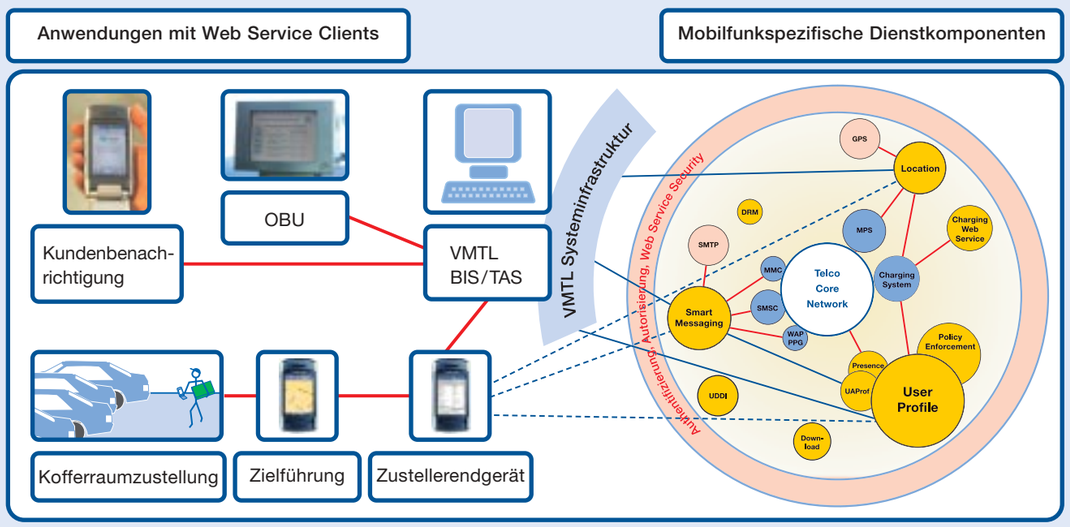
Abb. 2: Workflow Vorabenddisposition



Mobile Kommunikation und Device Management

Effektiv, kundennah und günstig – das funktioniert nur mit einer guten Kommunikation. Deshalb spielen kommunikationsunterstützende Dienste bei den VMTL-Szenarien 2005 und 2010 eine wesentliche Rolle. Diese Dienste nutzen Informationen, die in modernen Mobilfunknetzen vorliegen. Außerdem bedienen sie sich mobiler Kommunikation, um Informationsflüsse zwischen den verschiedenen Parteien – Zusteller, Logistikzentrale und Endkunde – zu realisieren.
So wurden ein Profil-, Nutzerbenachrichtigungs- und Ortsinformationsdienst als Dienstknoten eines Mobilfunkdienstnetzes entwickelt. Diese Dienste wurden in einem Internet-Diensteverzeichnis (UDDI) registriert, mit standardisierten Dienstbeschreibungen (WSDL) versehen, und stellen mittels SOAP/XML Web Services speziell gewünschte Daten wie „alternative Lieferorte“ eines Kunden zur Verfügung. Zusätzlich ermöglichen sie die Benachrichtigung des Endkunden über verschiedene Kommunikationswege.

Abb. 3: Mobilfunkspezifische Dienstinfrastruktur



Die VMTL-Systeminfrastruktur beim Logistikdienstleister greift via Internet über die genannten Schnittstellen auf die mobilfunkspezifische Dienstinfrastruktur zu, wann immer Kunden benachrichtigt oder auf kundenspezifische Informationen wie Zustellungspräferenzen zugegriffen werden soll.
Zur Unterstützung des Betreibers einer derartigen mobilfunkspezifischen Dienstinfrastruktur entwickelten die VMTL-Partner serverseitige Mechanismen für Operation&Maintenance sowie zur Gebührenerfassung. Dazu zählen Performance-Monitoring und die Protokollierung von Dienstaufrufen. Alle Web Service Aufrufe lassen sich abfangen und analysieren, und der Servicebetreiber kann weitere Aktionen bei bestimmten Dienstaufrufen bestimmen.

Darüber hinaus werden mobile Trägerdienste wie GPRS, WLAN (und später auch UMTS) effektiv und kostengünstig eingesetzt. Funkdienste für den Nahbereich wie z.B. Bluetooth kommen bei der Kommunikation von Auslieferfahrzeug und mobilem Endgerät (PDA) des Kundenbetreuers oder auch bei der „Kofferraumöffnung“ ins Spiel.

Sicherheit von Informationen

Die Sicherheit von Informationen und Daten spielt in allen Szenarien eine wichtige Rolle, die das Internet als Kommunikationsmedium nutzen. So auch bei den VMTL-Szenarien 2005 und 2010. Sehr häufig werden sensitive Daten zwischen verschiedenen Dienstkomponenten ausgetauscht, z.B. bei Anfragen des Logistikdienstleisters an den Nutzerprofildienst. Um die Sicherheit und einen vertraulichen Austausch von Informationen zu ermöglichen, werden Verschlüsselungsmechanismen und digitale Signaturen verwendet.
Die Sicherheits- und Verschlüsselungs-Lösungen im VMTL-Demonstrationssystem basieren auf Web Services Standards. Als Grundlage dienten Standards wie Web Services Security, XML Encryption und XML Digital Signature.

Device Management

Eine weitere funktionale Komponente, die auf dem BIS angesiedelt ist, ist der Device Management Service. Das Device Management ist ein integrierendes Element zwischen den stationären Diensten und Servern innerhalb der Systemarchitektur und den mobilen Endgeräten. Denn um die Logistik in Zukunft effektiver zu machen, werden Logistikdienstleister mit mehr und mehr unterschiedlichsten mobilen Geräten (auch als Devices bezeichnet) zu tun haben. Diese müssen alle mit möglichst geringem organisatorischem und technischem Aufwand in das System des Logistikdienstleisters und in die Kommunikationsflüsse integriert werden.

Ein Problem dabei ist, dass verschiedene Personen diese Geräte benutzen, die nicht nur unterschiedliche geschäftliche Interessen haben können, sondern auch unterschiedliches technisches Wissen. Eine manuelle dezentrale Verwaltung und Wartung dieser Geräte ist nur mit hohem Aufwand möglich. Das führt zu Ausfallzeiten der Geräte sowie zu einem zusätzlichen Personalaufwand beim Zustelldienst.
Ein weiteres Problem ist der Einsatz freier Mitarbeiter beim Logistikdienstleister sowie die Zusammenarbeit mit externen Unterauftragnehmern. Der jeweilige Zusteller muss auf seinem eigenen Gerät während der Tätigkeit für den Zustelldienst spezifische Software mit speziellen Funktionen zur Verfügung haben, damit die Kommunikation mit dem Depot reibungslos funktioniert. Doch nur der jeweils beauftragte Zusteller soll über den Auftrag informiert sein. Nach Zustellung müssen alle Informationen unwiderruflich gelöscht werden können, um die bestimmungsgerechte Verwendung der Software zu garantieren und Missbrauch auszuschließen.
Der Zusteller hingegen hat ein Interesse daran, dass sein Gerät auch mit der Software verschiedener Logistikdienstleister arbeiten kann. So muss sichergestellt werden, dass die Software komplett entfernt wird und die ursprüngliche Konfiguration zuverlässig wiederhergestellt werden kann.

Ein automatisiertes zentrales Device Management unterstützt die beteiligten Interessengruppen bei der Umsetzung dieser Konzepte. Es verwaltet eine Vielzahl an Geräten zentral mit einem geringen Personalaufwand. Da es momentan Bestrebungen gibt, die für das Management verwendeten Protokolle zu standardisieren, ist zu erwarten, dass in naher Zukunft sämtliche neuen mobilen Endgeräte ohne weitere Anpassung oder zusätzliche Software für das automatisierte Device Management ausgelegt sein werden.

Die Realisierung eines Device Managements zur Erfüllung der oben angeführten Anforderungen wurde auf der Basis eines IBM WEDM (WebSphere Everyplace Device Management) Servers vorgenommen. Folgende Funktionen werden unterstützt:

- zentrale Wartung mobiler Geräte
- Softwareverteilung und -löschung
- Konfigurierung der Geräte bzw. ihrer Software
- Inventarisierung der Geräte und ihrer Software
- Steuerung der Geräteverwaltung über Web Service Schnittstellen

Tourenplanung und -steuerung

Wie eine Auslieferтour geplant und durchgeführt wird, das entscheidet im VMTL-System der Transport Application Server (TAS). Er wird bei folgenden Kernfunktionen aktiv:

- Tourenplanung am Vorabend der Auslieferung
- Tourenplanung am Morgen der Auslieferung
- Tourüberwachung und Tourensteuerung während der Auslieferтour

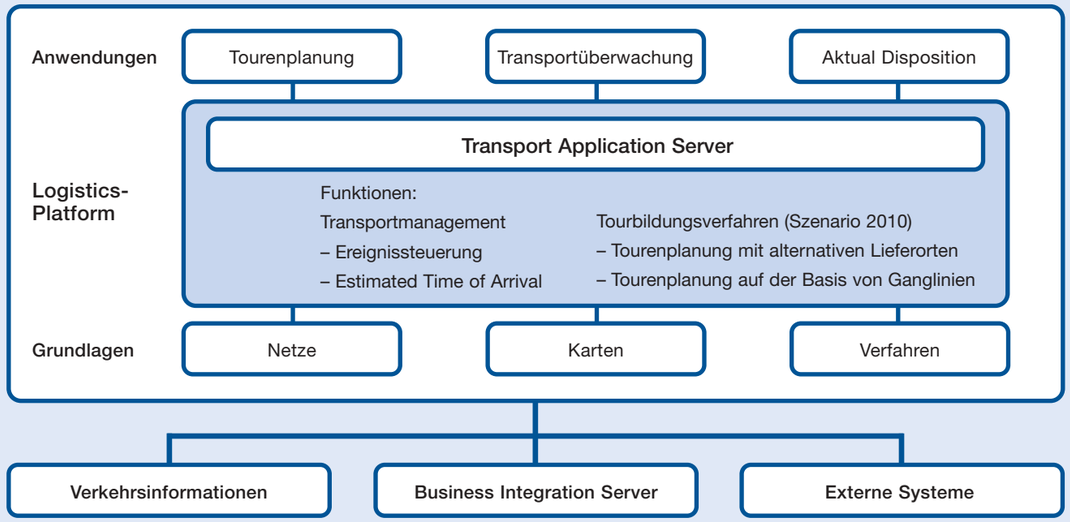
Diese Kernfunktionen ermöglichen es, aus der Planung heraus ein genaues Lieferzeitfester zu ermitteln und darüber hinaus auch im Falle einer nicht vorhersehbaren Störung oder eines unerwarteten Ereignisses auf die laufende Tour Einfluss zu nehmen.

Am Vorabend eines Auslieferтages werden die Touren geplant. Dabei werden alle Kundenpräferenzen (die in Form von Lieferprofilen der Kunden abgelegt sind) berücksichtigt sowie auch die zu erwartende Verkehrslage am nächsten Tag. Das Ergebnis sind Lieferzeitfenster, die den Kunden bereits am Vorabend mitgeteilt werden.

Die Tourenplanung am Morgen berücksichtigt möglicherweise aufgetretene Änderungen seitens der Kunden (wie z.B. die Änderung des Lieferprofils) sowie den tatsächlichen Wareneingang am Depot. Auch die Morgenplanung liefert Lieferzeitfenster, aber nur bei Bedarf – also wenn sich für den Kunden etwas ändert – wird dieser nochmals informiert.

Die wesentliche Unterstützungsfunktion während der eigentlichen Auslieferung bildet die Tourensteuerung, die beginnt, sobald die Lieferfahrzeuge das Depot verlassen haben. Sie überwacht den Tourverlauf und unterstützt eine Veränderung der laufenden Tour, falls dies spontane Ereignisse fordern.

Abb. 4: Transport Application Server



Die im Transport Application Server eingesetzte Technik basiert auf der Java 2 Enterprise Edition. Fremdsysteme werden über die Java-Connector-Technologie integriert.

Die Integration von Verkehrsinformationen wird über eine Schnittstelle zur „T-Info Factory“ der PTV AG realisiert. Die T-Info Factory agiert als Verkehrsinformationszentrale. Für VMTL wurde die Schnittstelle zwischen T-Info Factory und Transport Application Server technisch realisiert. Der Disponent kann sich die Verkehrsinformationsmeldungen in seinem Gebiet auf der Karte zusammen mit seiner Auslieferflotte ansehen. Außerdem werden die Reisezeiten zu den Kunden laufend auf der Basis aktueller Verkehrsinformationen neu berechnet.

Neben dem Aufbau und Testen dieser Arbeitsumgebung haben die VMTL-Partner im Rahmen der Arbeiten für das Szenario 2010 weitere wesentliche Tourbildungsverfahren entwickelt und in den Transport Application Server eingebunden. Sie stellen eine erhebliche Verbesserung der bisherigen Planungsverfahren dar und ermöglichen die geforderten Verbesserungen der Zustellprozesse. Diese werden nachfolgend erläutert.

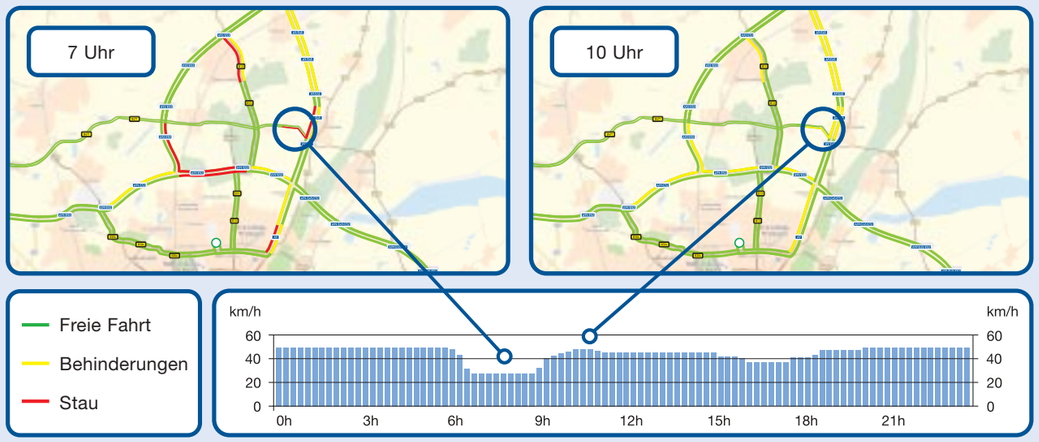
Tourenplanung auf der Basis von Ganglinien

Bislang konnten die bekannten Tourenplanungsalgorithmen nur auf unbelasteten Netzen planen. Die Reihenfolge und erwartete Anfahrtszeit der anzufahrenden Tourpunkte hing einzig ab von den Distanzen und den zugehörigen statischen Reisezeiten. In dem neu entwickelten Verfahren kann nun die zu erwartende dynamische Verkehrssituation im Verlauf des jeweiligen Ausliefertags berücksichtigt werden. So gibt es für ein und dieselbe Distanz im Netz im Tagesverlauf variierende, zeitabhängige Reisezeiten. Der Vorteil ist, dass der Kunde ein zuverlässigeres und genaueres Lieferzeitfenster erhält. Die Entwicklung dieser vertieften und komplexeren Verfahren für die Tourenplanung auf der Basis von Ganglinien war daher ein wesentlicher Schwerpunkt der Arbeiten für das VMTL-Szenario 2010.

Hierzu wurden drei sequenzielle Einsetzverfahren für den modular aufgebauten Transport Application Server (TAS) implementiert. Die entwickelten Verfahren berücksichtigen bei der Tourenbildung empirische Verkehrsinformationen und darauf basierende Prognosezustände in Form von im Tagesverlauf variierenden, also dynamischen Distanzmatrizen (Weg bzw. Zeit).

Die durchgeführten Tests und Szenarienbetrachtungen zeigen, dass die Planungsverfahren Tourenpläne hervorbringen, die zum einen besser die tatsächliche Verkehrssituation im Tagesverlauf reflektieren, zum anderen ergeben sich aber auch „Vermeidungseffekte“. Die Touren verlaufen zu Spitzenzeiten nicht oder nur vermindert in den besonders belasteten Bereichen einer Stadt. Die Tests zeigen aber auch ganz klar, dass die entwickelten Verfahren nur dann ihre volle Wirkung entfalten können, wenn auch genaue und differenzierte Verkehrsinformationen bereitgestellt werden. Der große Nutzen der so verfeinerten Tourenplanungsalgorithmen liegt also nicht mehr nur in einem zuverlässigeren und genaueren Lieferzeitfenster für den Kunden. Zusätzlich ist es gelungen, dass der Wirtschaftsverkehr die belasteten Bereiche im Straßennetz in der Rush-Hour meidet. Somit kommt es zu einer Entzerrung der verkehrlichen Situation im städtischen Bereich und zur Reduzierung von Emissionen zu Stoßzeiten.

Abb. 5: Tourenplanung auf der Basis von Ganglinien



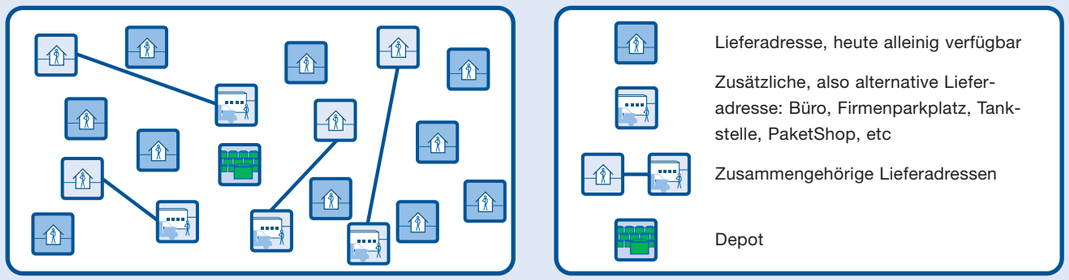
Tourenplanung mit alternativen Lieferorten

Das Wachstum und der Wandel bei E-Commerce und Heimbelieferung verlangen zunehmend nach empfängerfreundlicher Zustellung. Der Kundenwunsch nach größerer Flexibilität was die Lieferorte (Zuhause, Büro, PKW-Kofferraum, PaketShop, etc.) sowie die Lieferzeitfenster für diese Orte anbelangt, ist daher ein weiterer Schwerpunkt der Entwicklungen für das VMTL-Szenario 2010.

Es wurden vier Verfahren für den Transport Application Server (TAS) entwickelt. So können aus der vom Kunden angegebenen Auswahl an alternativen Lieferoptionen diejenigen Lieferpunkte mit entsprechenden Zeitfenstern ausgewählt werden, die im Zuge einer Gesamtoptimierung der Tour am günstigsten liegen. Häufungen von Lieferpunkten, die auch ein ähnliches zeitliches Muster haben, lassen sich mit Planungsverfahren erkennen und werden bei der Zustellfahrt zeitnah bedient.

Dass die Verfahren funktionieren, zeigen die Testergebnisse: Für die betrachteten Szenarien mit alternativen Lieferorten konnte die Tourlänge um bis zu 13% reduziert werden. Gleichzeitig wird eine Verbesserung des Kundenservices und damit eine Erhöhung der Kundenzufriedenheit erreicht. Außerdem lassen sich Kilometer einsparen. So kommt es zu einer weiteren Entspannung der verkehrlichen Situation und einer Verringerung von Emissionen im städtischen Bereich.

Abb. 6: Tourenplanung mit alternativen Lieferorten


Lieferadresse, heute alleinig verfügbar
Zusätzliche, also alternative Lieferadresse: Büro, Firmenparkplatz, Tankstelle, PaketShop, etc
Zusammengehörige Lieferadressen
Depot

Nutzerakzeptanz und Wirkungsbetrachtung

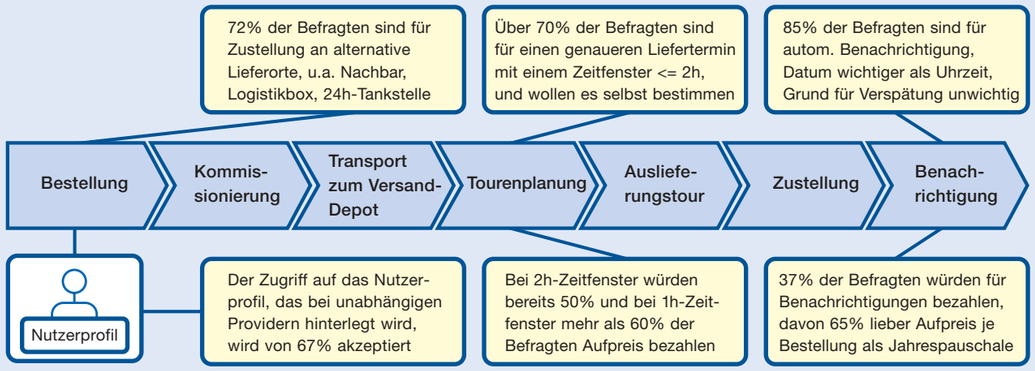
Die in VMTL erarbeiteten Logistikkonzepte und -dienste für die Szenarien 2005 und 2010 wurden mit Hilfe von Akzeptanzuntersuchungen und Betriebssimulationen auf die Nutzerakzeptanz und verkehrlichen Auswirkungen geprüft. Dabei wurden die Anforderungen von Endkunden und die verkehrlichen Rahmenbedingungen berücksichtigt. Die abgeleiteten Handlungsempfehlungen fließen in die zukünftigen Logistikkonzepte und -dienste ein.

Prozess- und Nutzerakzeptanzanalyse

Die unterschiedlichen Angebotsstrukturen des VMTL-Systems wurden zunächst für Versandhauskunden bewertet, und zwar mit Hilfe von Prozessmodellierung und Akzeptanzuntersuchungen. Die Prozessmodellierung ermöglicht eine einheitliche Darstellung der Logistikprozesse aus Funktions-, Organisations-, Daten- und Prozesssicht und erleichtert die Bewertung und Auswahl von Varianten. Dadurch lässt sich das Zusammenwirken der einzelnen beteiligten Objekte, Informationsflüsse, Ressourcenauslastung und auch der damit verbundenen Kosten besser untersuchen.

Außerdem wurde eine umfangreiche Kundenbefragung durchgeführt, in der die Anforderungen der Endkunden und die Akzeptanz der VMTL-Konzepte ermittelt und ausgewertet wurden. Dabei stellte sich heraus, dass Versandhauskunden eine sehr positive Grundhaltung zu den von VMTL entwickelten neuen Logistikkonzepten haben. Weiter konnte festgestellt werden, dass teilweise eine höhere Zahlungsbereitschaft für die Konzepte vorhanden ist, wenn die Versandhauskunden die ihnen gebotenen Vorteile erkennen können.

Abb. 7: Standardprozess unter Anwendung des Nutzerprofils und der Akzeptanz


72% der Befragten sind für Zustellung an alternative Lieferorte, u.a. Nachbar, Logistikbox, 24h-Tankstelle
Über 70% der Befragten sind für einen genaueren Liefertermin mit einem Zeitfenster <= 2h, und wollen es selbst bestimmen
85% der Befragten sind für autom. Benachrichtigung, Datum wichtiger als Uhrzeit, Grund für Verspätung unwichtig
Bestellung
Kommissionierung
Transport zum Versand-Depot
Tourenplanung
Auslieferungstour
Zustellung
Benachrichtigung
Nutzerprofil
Der Zugriff auf das Nutzerprofil, das bei unabhängigen Providern hinterlegt wird, wird von 67% akzeptiert
Bei 2h-Zeitfenster würden bereits 50% und bei 1h-Zeitfenster mehr als 60% der Befragten Aufpreis bezahlen
37% der Befragten würden für Benachrichtigungen bezahlen, davon 65% lieber Aufpreis je Bestellung als Jahrespauschale

Wirkungsabschätzung

Die Wirkungsabschätzung der durch VMTL-Maßnahmen erzielbaren Effekte erfolgt für die Zeithorizonte 2005 und 2010. Prognostiziert wird für den Zeitraum eine deutliche Zunahme des Sendungsaufkommens bei der Hermes Logistik GmbH, u.a. auch durch die Zunahme der E-Commerce Nutzung. Die im Jahre 2002 durchgeführten Prognosen für das Jahr 2005 können heute verifiziert werden, so dass auch von einer realistischen Einschätzung der Rahmenbedingungen für das Jahr 2010 ausgegangen wird.

Auf Grundlage dieser Situation erfolgte die Simulation der Betriebsabläufe der Tourenplanung für die Hermes Flotte im Berliner Stadtgebiet und die Darstellung der einzelnen Touren. Die Effekte der VMTL-Maßnahmen auf den Fahrzeugeinsatz, die Flottenstruktur, die Fahrleistung und die Stoppquote (d.h. die Anzahl Stopps und Sendungen je Tour) wurden unabhängig voneinander betrachtet, sowie das Zusammenspiel der Rahmenbedingungen und Maßnahmen.

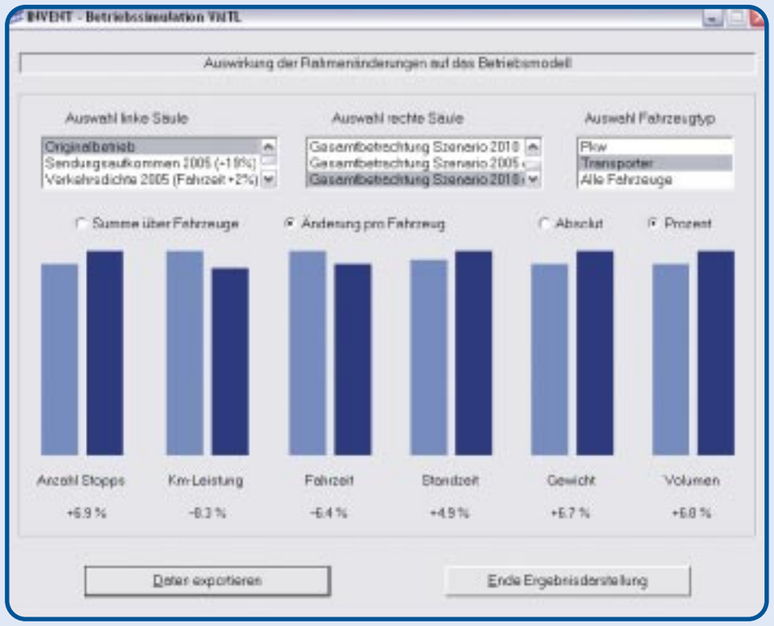
Abb. 8: Übersicht der betrachteten Szenarien 2005/2010 mit VMTL-Maßnahmen

		2005	2010
Externe Rahmenbedingungen	**Sendungsaufkommen**	+19,2%	+52,1%
	Verkehrsdichte	Fahrzeiterhöhung +2%	Fahrzeiterhöhung +5%
VMTL-Maßnahmen	**Einführung Tourenplanung**	Tourenplanung	Dynamische Tourenplanung
	Einführung Lieferprofil Verbesserung Zustellsicherheit	**Lieferprofil** Reduzierung Fehlanfahrten von 8% auf 6%	**Lieferprofil** Reduzierung Fehlfahrten von 8% auf 4%
	Einführung Lieferprofil Verringerung Nachbarschaftsquote	**Lieferprofil** Verringerung Nachbarschaftsquote von 24% auf 20%	**Lieferprofil** Verringerung Nachbarschaftsquote von 24% auf 15%
	Akzeptanz enger Lieferzeitfenster	10% der Kunden	20% der Kunden Festlegung aufgrund von Vergangenheitswerten
Gesamtbetrachtung	**Szenario**	Alle Maßnahmen 2005	Alle Maßnahmen 2010

Ein hierfür entwickeltes Tool ermöglicht die differenzierte Abschätzung der Effekte für die einzelnen Fahrzeugtypen der Hermes-Flotte und die Gesamtflotte. Auf dieser Grundlage wird die Effektivität der Einzel-Maßnahmen dargestellt und Reduktionspotenziale für Fahrzeuge und Fahrleistungen identifiziert.

Die größten Effekte werden durch die Einführung des Lieferprofils erzielt. Der Anteil der direkten Zustellung beim Kunden erhöht sich. Weniger Fehlanfahrten zum Kunden bedeuten gleichzeitig auch weniger Fahrleistung. Zusätzlich werden auch die Standzeiten aufgrund der niedrigeren Nachbarschaftsquote verkürzt. Durch die Verringerung von Fahr- und Standzeiten können insgesamt wiederum mehr Sendungen je Tour zugestellt werden.

Abb. 9: Oberfläche des Tools zur Wirkungsabschätzung der VMTL-Maßnahmen



Fazit und Ausblick

Durch die Einführung der VMTL-Konzepte ist eine effizientere Abwicklung des Warenverkehrs möglich. Bezogen auf die Gesamtflotte eines Logistikdienstleisters bedeutet die Umsetzung der VMTL-Maßnahmen eine nennenswerte Einsparung der Fahrleistung. Dadurch kommt es gleichzeitig zu einem geringeren Fahrzeugbedarf. Die zu erwartende Zunahme des Wirtschaftsverkehrs insgesamt aufgrund der Erhöhung des Sendungsaufkommens kann durch die VMTL-Maßnahmen nicht komplett aufgefangen werden. Die in VMTL entwickelten intelligenten Technologien und neuartigen Kommunikationskonzepte können dieser Entwicklung jedoch entgegensteuern und die unerwünschten Effekte in deutlichem Umfange abschwächen.

Die Möglichkeiten, innovative Technologien für optimierte Transportdienstleistungen und einen besseren Kundenservice einzusetzen, sind vielfältig. Vorraussetzung für die Nutzung dieser Möglichkeiten ist die zunehmende informationstechnische Vernetzung der an einem Transportauftrag beteiligten Akteure und Komponenten: Kunde, Versanddienstleister, Bestellportal, Logistikdienstleister, Zusteller, Fahrzeug, Sendung (Stichwort RFID), Verkehrsmanagementzentrale, usw.. Wenn sich diese konsequente informationstechnische Vernetzung auch in der Transportkette bis zum Kunden widerspiegelt, dann eröffnen sich auch neue Potentiale für mehr Service, effizientere Abläufe bei den Logistikdienstleister und ein nachhaltiges Verkehrsmanagement in den Städten.